

10  
29



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN

SISTEMA DE TRATAMIENTO A UTILIZAR EN LA  
AMPLIACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES (CERRO DE LA ESTRELLA)  
EN IZTAPALAPA DISTRITO FEDERAL.

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

DEMETRIO GONZALEZ PEREZ





## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI/074/1987.

SR. DEMETRIO GONZALEZ PEREZ  
Alumno de la carrera de Ingeniería  
Civil.  
Presente.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 31 de octubre de 1985, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Sistema de Tratamiento a utilizar en la Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Iztapalapa Distrito Federal", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción.
- I.- Generalidades.
- II.- Descripción del Método Utilizado.
- III.- Proceso de Tratamiento Utilizado.
- IV.- Tratamiento por Medios Filtrantes.
- V.- Diseño y Construcción del Filtro a Utilizar.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor Ing. Fernando Favela Lozoya, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

Atentamente,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Acatlán, Edo. de Méx., a 7 de mayo de 1987.

ING. HERMENEGILDO ARCOS SERRANO  
Coordinador del Programa de Ingeniería - ACATLAN

COORDINACION DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA

# I N D I C E

PROLOGO

INTRODUCCION

I	GENERALIDADES.....	13
	a).- Ciclo hidrológico	
	b).- Usos del agua	
	c).- Métodos de tratamiento	
II	DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO .....	26
	a).- Referencia historica y bases del proceso	
	b).- Factores que intervienen	
	c).- Partes constitutivas del proceso	
	d).- Parametros de control	
III	PROCESO UTILIZADO (CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS) .....	45
	a).- Tratamiento preliminar	
	b).- Tratamiento primario	
	c).- Tratamiento secundario	
	d).- Tratamiento terciario	
IV	TRATAMIENTO POR MEDIOS FILTRANTES.....	67
	a).- Tipos de filtros	
	b).- Filtros lentos	
	c).- Filtros rápidos	
	d).- Filtros a presión	

V

**DISEÑO Y RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION**

**DEL FILTRO UTILIZADO..... 89**

- a).- Características generales
- b).- Desarrollo del sitio y arreglo del conjunto.
- c).- Filtro rápido
- d).- Diseño estructural
- e).- Cantidades de obra

**CONCLUSIONES**

## P R O L O G O

En el presente trabajo después de una breve introducción se presentan los métodos de tratamiento más comunmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales, así como la descripción del método que se utiliza en la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, para posteriormente proponer un tratamiento que acondicione el agua efluente de la planta para ser utilizada en varios usos específicos.

En el capítulo I, se presenta una descripción del ciclo hidrológico, de los usos del agua renovada de la planta Cerro de la Estrella y de los métodos más comunmente aplicables al tratamiento de aguas de segundo uso. En el capítulo II, se hace una descripción del método de tratamiento biológico que se utiliza en la planta (tratamiento Secundario).

En el capítulo III, se da una descripción general de los tres tipos de tratamiento que se aplican al agua influente de la planta Cerro de la Estrella, así como los tipos de tratamiento terciario que se podrían aplicar al efluente de la planta. Se selecciona el adecuado de acuerdo con las necesidades que se tienen. En el capítulo IV, se describe el tratamiento por medios filtrantes y se hace mención de la justificación de la ampliación. En el capítulo V, se presenta el diseño y las recomendaciones de construcción para el sistema por filtración. En este capítulo se dan las características del mismo así como las cantidades de obra.

## I N T R O D U C C I O N

La presión del crecimiento urbano en el Valle de México, ha demandado en los últimos años la construcción de grandes obras hidráulicas para satisfacer las necesidades de agua potable y para desalojar las aguas residuales y pluviales.

Las obras son cada vez más complejas y costosas debido a las condiciones particulares de los suelos blandos del Valle y a su elevación, a más de 2 000 metros sobre el nivel del mar.

La rapidez con que se han generado los nuevos asentamientos humanos, en muchos casos ha creado problemas al sistema hidráulico, en especial a las fuentes de abastecimiento, por la descarga de aguas residuales en cauces naturales y por su infiltración al acuífero. Los efectos se advierten también en el drenaje, y en general en las condiciones ambientales de la población.

En la cuenca del Valle se estima que la precipitación media anual es de  $213 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , de los cuales 171 se evapotranspiran, 23 recargan el acuífero y  $19 \text{ m}^3/\text{seg.}$  escurren superficialmente; de estos, una parte es regulada por un sistema de presas, otra es captada por el sistema de drenaje, y sólo  $3 \text{ m}^3/\text{seg.}$  se almacenan para usarse posteriormente.

Para satisfacer la demanda en 1979, se captaban 40 m<sup>3</sup>/s de agua subterránea en el Valle de México, 3 de agua superficial, 11 del acuífero de Lerma, y además se reusaron 2 m<sup>3</sup>/s de agua residual tratada.

La demanda en 1982 era de 56 m<sup>3</sup>/s, destinando 32.4 al uso doméstico, 11.3 al industrial, 4 al municipal y 8.3 al agropecuaria. En consecuencia se generaron 35 M<sup>3</sup>/s de aguas residuales.

La sobreexplotación del acuífero del Valle de México ha traído como consecuencia hundimientos, agrietamientos del terreno y degradación del agua subterránea.

El hundimiento de la Ciudad de México es tal vez el caso más notable de este fenómeno, reportado en todo el mundo, debido que a la fecha alcanza valores máximos del orden de 9 mts. y cubre una superficie de más de 600 Km<sup>2</sup>.

Una consecuencia menos conocida, pero no menos grave de la sobreexplotación de los acuíferos, es la formación de grietas como las que han venido apareciendo en la Presa Mixteac y en el Municipio de Naucapán, dentro del Valle de México, y a todo lo largo de las baterías de pozos del sistema alto Lerma, en la cuenca del mismo nombre.

El hundimiento, con sus movimientos verticales, provoca daños a pavimentos, banquetas y edificios, y desloca las redes de agua potable y drenaje. El agrietamiento pone en peligro la estabilidad de todo tipo de construcciones, es-

especialmente las obras hidráulicas.

Por todo lo anterior y considerando que para el año 2000, se estima que el Distrito Federal, con 28 millones de habitantes que demandarán 122 m<sup>3</sup>/s de agua potable y generará 91 de agua residual, requerirá importar agua de las cuencas vecinas, como actualmente se hace del Cutzamala. Esto trae como consecuencia la reducción de la sobreexplotación del acuífero; sin embargo dados los altos costos que implica el traer agua de lugares distantes, resulta atractiva la exploración de alternativas de suministro dentro del Valle.

Las acciones relativas a la sustitución de agua potable por agua residual en actividades que así lo requieran; se orientan primeramente al aprovechamiento de la capacidad de tratamiento disponible en las plantas existentes (Chapultepec, Cd. Deportiva, Xochimilco, C. de la Estrella, B. de las Lomas, AC. de Guadalupe, Sn. Juan de Aragón, El Rosario). En paralelo se realizan estudios por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, para extender los usos a procesos industriales. Se analizó la demanda potencial, y a través del monitoreo de la calidad del agua se identifican y cuantifican diversos compuestos que al rebasar ciertos niveles podrían afectar las condiciones de los cuerpos receptores. Posteriormente, se determinarán los procesos aplicables de tratamiento que permitan obtener los niveles de calidad requeridos por los consumidores potenciales.

El presente trabajo estará enfocado en la descripción del Sistema de Tratamiento a utilizar en la Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Cerro de la Estrella.

La Planta de Tratamiento, se localiza en el costado Sur del panteón Civil de San Nicolás Tolentino, en Istapalapa Distrito Federal, en una superficie aproximada de 9 has. La Planta cuenta con una línea de conducción principal de agua (tubería de concreto de 1.83 m. de diámetro) con juntas flexibles. Estancas con una longitud de 20 km..

Se hace una descripción del proceso que actualmente se lleva a cabo en la Planta y del uso actual que se hace del agua tratada.

Cabe aclarar que el sistema a utilizar en la Ampliación de la Planta de Aguas Residuales Cerro de la Estrella descrito en este trabajo, no obtiene agua con fines de consumo humano, ni es útil a todo tipo de industrias, dado que como el objetivo lo indica es aplicable a procesos específicos.

Tales procesos son:

- Generación de vapor
- Procesos Varios
- Enfriamiento
- Servicios y otros.

## C A P I T U L O I

### GENERALIDADES

Prácticamente toda el agua de las fuentes públicas o privadas, ha sido expuesta a contaminación, al correr sobre la superficie de la tierra o al filtrarse a través del suelo.

En la naturaleza no se encuentra el agua pura. Al condensarse el agua de la atmósfera y caer como lluvia sobre la tierra, atrastra polvo y gases. Después de alcanzar la superficie de la tierra, queda inmediatamente expuesta a la contaminación con materia orgánica.

Cabe mencionar en este párrafo, que el agua de lluvia, pozo, manantial, etc., aunque se encuentre contaminada, es agua de primer uso y su tratamiento está normado de acuerdo con la ley de salud; mientras que el agua residual que ha sido utilizada y vertida como desecho; es decir que ha sido contaminada directamente por uso del hombre, al ser tratada o renovada, es agua de segundo uso y sólo existen criterios de calidad.

### CICLO HIDROLOGICO

El ciclo hidrológico, es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua. Este ciclo empieza con la evaporación de los océanos. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa formando

nubes que, a su vez ocasionan precipitaciones. De la precipitación sobre el terreno, una parte es retenida por la superficie, otra escurre sobre ella y la restante penetra en el suelo. El agua retenida es devuelta a la atmósfera por evaporación y por transpiración de las plantas. La parte que escurre sobre la superficie es drenada por arroyos y ríos hasta el océano; aunque parte se pierde por evaporación. El agua que se infiltra, satisface la humedad del suelo y abastece los depósitos subterráneos, de donde puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración.

Esta descripción simplificada del ciclo hidrológico, es de tipo cualitativo y en ella no se ha incluido el tiempo; por ejemplo, después de ocurrida una tormenta, el efecto inmediato en un río se deja sentir por el escurrimiento superficial, además de existir recarga del agua subterránea. Puede decirse también que no hay evaporación durante la tormenta y que toda el agua de lluvia es intercepta, infiltra y escurre superficialmente

#### USOS ACTUALES DEL AGUA RENOVADA

El uso de aguas tratadas para satisfacer la demanda de agua en actividades como el riego de áreas verdes, llenados de lagos recreativos y preservación de niveles de agua en canales, son las primeras actividades en las cuales se ini-

ció la sustitución de agua potable por agua tratada. La demanda actual de agua tratada para estas actividades es de  $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  que corresponde a la demanda media en los meses de estiaje y de  $3.1 \text{ m}^3/\text{seg.}$  que corresponde al mes de máxima demanda; y por otro lado la capacidad instalada en las plantas de tratamiento construidas en el D.F., en la actualidad es de  $4.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , la cual se verá incrementada hasta  $5.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$  en el corto plazo debido a la ampliación de la planta Cerro de la Estrella, alcanzando con esto aproximadamente el 10 % del caudal de agua que se consume en el D.F.. De lo anterior se puede observar que la capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales, se encuentra 100 % arriba de la demanda de los usos públicos mencionados y esto solamente para el periodo de estiaje, ya que en el periodo de avenidas la capacidad instalada debe ser restringida hasta sus límites más bajos, implicando considerables pérdidas para el D.D.F., así como un desaprovechamiento de las instalaciones con que se cuenta. Por tal motivo la sustitución paulatina de agua potable por aguas residuales tratadas en aquellos usos en que no requiera una calidad Fisico-quimicabacterologica (FQB), similar a la potable, es una solución con múltiples beneficios.

Las bases sobre las que se apoyan los usos descritos son las siguientes:

+ El nivel de tratamiento requerido por los usos, es el nivel instalado en la planta de tratamiento C. de la E..

- + Existe el proyecto de probar a nivel de laboratorio, el uso de aguas tratadas a nivel secundario en la recarga de acuíferos.
- + La relativa cercanía de las áreas industriales de la Delegación a la planta de tratamiento.
- + Existe capacidad instalada suficiente para garantizar el abastecimiento constante, requerido para estos usos.
- + Se tiene contemplada la instalación de filtros de arena en el efluente final de la planta del C. de la E., lo cual mejorará su calidad.
- + Otros usos que no deben de dejar de contemplarse, son el municipal no potable para uso doméstico (lavado de pisos, W.C., etc.), y potable aún cuando por el momento sólo sean usos potenciales a largo plazo.

México cuenta con un volumen medio anual renovable de agua dulce de 410 000 millones de m<sup>3</sup> que se denomina "disponibilidad potencial". La "disponibilidad efectiva" es el volumen anual de agua que se puede utilizar efectivamente de acuerdo con las características de los regímenes de escurrimiento y demanda de las obras de almacenamiento y de otras medidas que contribuyen al aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

Si bien los balances hidráulicos no indican problemas de escasez de agua a nivel nacional, puesto que hacia el año 2 000 se espera que se consuma sólo el 16% de la disponibilidad potencial; existen regiones donde la escasez de agua es un freno al desarrollo, mientras que en otras como las cuencas del Valle de México y del río Lerma, donde se cuenta con buenas fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas; el crecimiento de la demanda para diferentes usos provoca que el agua sea un elemento escaso este trae como consecuencia la necesidad de conservar y utilizar el agua en forma racional de manera eficiente y aumentar su cantidad disponible.

Se han hecho intentos en diferentes partes del mundo para incrementar la disponibilidad potencial mediante la modificación de algunas variables del ciclo hidrológico a través de la desalación, la estimulación de lluvias y la reducción de la evaporación en cuerpos de agua, asimismo

Con objeto de incrementar la disponibilidad efectiva, se utiliza la recarga artificial de acuíferos y el reuse de las aguas.

#### DESALACION

La utilización de los diferentes métodos de desalación conocidos actualmente, depende de la concentración de sales y del gasto de agua por desalar. Los métodos más usuales para desalar el agua de mar en plantas de gran tamaño, son los de evaporación instantánea y compresión del vapor; para plantas de menores dimensiones y concentraciones de hasta 5 000 ppm., se utiliza la ósmosis inversa y la electrolisis.

En México se desala actualmente para fines domésticos e industriales 32 000 m<sup>3</sup>/día, en plantas operadas por la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión para el aprovechamiento de aguas Salinas (CAAS), donde el 88 % lo proporciona la desaladora Rosarie B.C.N., la población beneficiada fue de 177 000 habitantes y los costos de desalación varían de 2 a 8 pesos por metro cúbico (precios de 1974 ver referencia 15 página 200) .

Los usuarios de las plantas construidas por el CAAS no han tenido hasta ahora la capacidad de pago suficiente para cubrir los gastos de inversión, operación y mantenimiento de las instalaciones, por lo que la Comisión absorbe todos los gastos.

### ESTIMULACION DE LLUVIAS

Apartir de resultados de experiencias a nivel mundial, se concluye que se pueden alcanzar incrementos de precipitación del orden del 10% al 15% . El incremento que se produce en el volumen de agua aprovechable, depende de las características particulares de cada cuenca. La estimulación de lluvias en México no han sido confiables debido por una parte a la falta de un programa sistemático que incluya el control de la ciembra y medición de variables atmosféricas en diferentes sitios, aparte de no contar con un período de experimentación suficientemente largo para que las pruebas estadísticas sean significativas.

### REDUCCION DE LA EVAPORACION DE CUERPOS DE AGUA

Las medidas para reducir las pérdidas por evaporación mediante capas monomoleculares aplicadas a la superficie del agua, están aún a nivel de investigación experimental. Este método no es útil en grandes cuerpos de agua porque la película se rompe fácilmente.

### REUSO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se usan en el país principalmente para riego sin tratamiento previo, como es el caso del Distrito de Riego 03 de Tula y el área de Chiconautla, donde se aprovecha cerca de 25 m<sup>3</sup>/seg., provenientes de la Ciudad de México para regar una superficie aproximada de 40 000 Ha.

El reuso de agua con fines industriales, se emplea principalmente en Monterrey, donde existen planes para incrementar en  $0.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , el volumen actual de  $1 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , de agua tratada. Los costes de tratamiento varían para este caso de \$0.46 por metro cúbico a \$1.25/ $\text{m}^3$  dependiendo del tamaño de las plantas y del uso, en tanto que el agua obtenida directamente de la red municipal es de \$1.75/ $\text{m}^3$ , (los costos anteriores corresponden al año 1974, ref. 15) .

**CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA TRATADA MEDIANTE  
LOS SIGUIENTES USOS**

- + Riego de áreas verdes.
- + Llenado de lagos.
- + Aplicaciones Industriales.
- + Criterio de calidad para el riego de áreas verdes

Los principales requerimientos que se exigen para este uso son ciertos contenidos de materia orgánica y de organismos patógenos al hombre.

La compatibilidad de las características biofísicoquímicas del suelo y los requerimientos hídricos son aspectos relevantes para este uso.

Los factores que se deben considerar importantes en la calidad requerida, son las interacciones de los contaminantes con algunos factores edafológicos, tales como: textura, contenido de materia orgánica, nutrientes, sales, capacidad

de intercambio iónico y PH. La disolución de metales pesados es una función del PH del medio, por lo que este último se debe vigilar.

Con respecto a los compuestos orgánicos sintéticos, se desconocen sus efectos ambientales en el suelo, pero se presupone que su influencia nociva, está en función de sus estructuras y estabildades químicas. La aportación de sales depende de las láminas de riego aplicadas y de la tolerancia de las áreas verdes, especialmente ante la presencia de sodio, por lo que es importante sancionar la conductividad eléctrica. Compuestos como: clordano, cloruro de vinilo, etc., presentan riesgos de cancer; estos compuestos son absorbidos por la piel y además su estabilidad química y su resistencia a la biodegradación favorece su acumulación.

+ Criterio de calidad para el llenado de lagos recreativos.

Para este caso, el número y tipo de organismos patógenos es importante, además de los compuestos orgánicos sintéticos comentados anteriormente, ya que como se indicó, la principal ruta de acceso al cuerpo humano es por contacto.

+ Criterio de calidad del agua para aplicaciones Industriales.

Los principales usos que se le dan al agua tratada en la Industria son: enfriamiento y producción de vapor cuya

calidad se especifica a continuación.

a) Enfriamiento.

Para esta aplicación el agua se usa como agente intercambiador de calor, por lo que su calidad debe ser tal que se eviten incrustaciones minerales y corrosión en los sistemas de enfriamiento.

b) Producción de vapor.

El uso para producción de vapor puede ser en calderas de baja y mediana presión.

La calidad del agua debe ser tal que no se permita incrustaciones minerales ni corrosión en los equipos.

## MÉTODOS DE TRATAMIENTO

El tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo mediante los siguientes procesos; Pretratamiento, Tratamiento primario, Tratamiento secundario y Tratamiento terciario, este último muy poco empleado.

**Pretratamiento.**- Para este proceso se usan los siguientes dispositivos y con esto se eliminan los sólidos sedimentables y la materia flotante.

**Rejillas;** pueden ser manuales ó mecánicas.

**Desmenusadores;** son equipos que cortan el material grueso retenido en una malla sin removerlas de la corriente.

**Desarenadores;** son tanques para remover la arena del agua residual y separarla del material orgánico.

**Tratamiento primario.**- Para este tratamiento se usán tanques de sedimentación para reducir la cantidad de sólidos suspendidos ó sedimentables y sus parámetros de diseño son:

Variación del flujo (selección del máximo).

Corrientes de densidad (un fluido más denso que el otro).

Carga de sólidos suspendidos.

Concentración de sólidos, Tasa de derrame ( $\text{max. } 25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ )

Profundidad.

Velocidad a través del tanque de sedimentación.

Velocidad de suspensión de los lodos.

**Tratamiento secundario.**.- En este proceso es necesario aplicar algún tratamiento biológico y que son esencialmente procesos bioquímicos en donde los microorganismos utilizan la materia orgánica y los nutrientes biológicos contenidos en los desechos para su reproducción.

En estos procesos de remoción de materia orgánica donde el producto que interesa es el de obtener agua de calidad adecuada que pueda ser usada en diversas actividades o como proceso de estabilización de la materia orgánica en donde el producto final además del agua tratada es material sólido estabilizado que puede retornarse al medio sin causar ningún peligro.

Los tratamientos biológicos pueden agruparse en tres categorías:

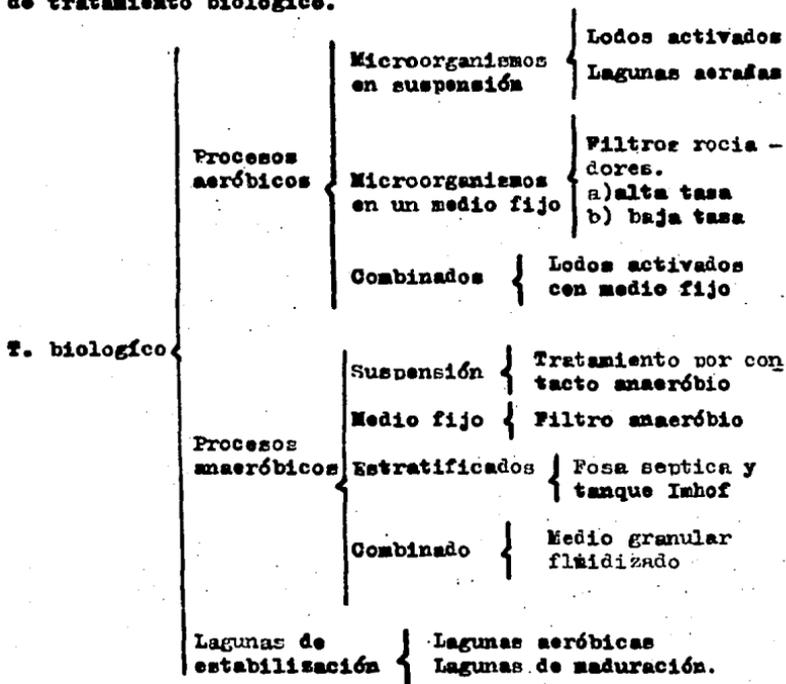
a) Digestión aerobia.- Considera la presencia de oxígeno disuelto con el fin de que la estabilización de la materia orgánica se lleve a cabo bajo condiciones aeróbicas.

b) Digestión anaerobia.- Se estabiliza el material orgánico en ausencia total de oxígeno disuelto cuya particularidad importante es la generación de subproductos de alto valor energético (gas metano).

c) Lagunas de estabilización.- La estabilización se logra mediante el proceso de energía solar-fotosíntesis de las algas y bacterias.

En conclusión estos tratamientos tratan de proporcionar a los microorganismos mediante un diseño apropiado, las condiciones óptimas para que desarrollen sus funciones.

La siguiente figura muestra un resumen de los métodos de tratamiento biológico.



## C A P I T U L O II

### DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO

De entre los procesos biológicos utilizados en el tratamiento secundario, se eligió el proceso convencional de lodos activados por razones de espacio, calidad del agua tratada y flexibilidad en el cambio de composición del influente.

### REFERENCIA HISTORICA Y BASES DEL PROCESO

En 1914, Arden y Lockett, como resultado de experimentos relacionados con la aeración del agua negra de Manchester, presentaron en Londres el descubrimiento de un nuevo y revolucionario método de tratamiento: "El Proceso de Lodos Activados", que consiste esencialmente en la aeración por un periodo suficiente de tiempo, de una mezcla de aguas negras con un lodo especial bacteriológico y microscópicamente activo; después de una sedimentación, se obtiene un efluente de calidad similar o superior al de un filtro rociador.

En los experimentos originales de laboratorio, se encontró que la aeración de aguas negras por varios días, producía oxidación y nitrificación, depositándose un lodo floculento de color café oscuro. Después de una sedimentación, las aguas negras purificadas se extraían y el lodo se

retenía para ayudar a la oxidación de otro volumen de agua negra. Repitiéndose varias veces esta operación, reteniéndose siempre el lodo depositado, se encontró que la purificación ocurría en períodos de aereación progresivamente más cortos, debido a una mayor actividad del lodo. Finalmente se obtuvo un lodo altamente activo que se denominó activado, con el cual puede purificarse aguas negras en unas cuantas horas.

En escala municipal, es posible obtener un volumen apropiado de lodos activados de una a tres semanas, aereando las aguas negras y recirculando el lodo sedimentado. El tiempo puede reducirse "inoculando o sembrando" la nueva instalación con lodos de otra planta o humus de una planta de Filtros Recicladores.

El proceso se usa ahora en infinidad de poblaciones de todo el mundo, siendo particularmente atractivo donde se requieren altas eficiencias y se dispone de poco terreno o tiene alto valor.

En particular, es importante asegurar que los sólidos suspendidos de la mezcla de lodos activados y aguas negras (licor mezclado), se mantengan en suspensión por suficiente turbulencia y que se tengan presentes concentraciones adecuadas de oxígeno. Esto se hace normalmente por difusión de aire u oxígeno, o adoptando alguno de los diversos sistemas de aereación mecánica, hidráulica o combinaciones.

Con el proceso de Lodos Activados se oxida y ramueve material soluble o finamente dividido, no retenido en el tratamiento previo.

Se hace incapie en que para controlar el proceso debe entenderse que el Lodo Activado es un cultivo de microorganismos aerobicos cuyo alimento se obtiene del agua negra, siendo indispensable un balance entre el alimento disponible y la población de microorganismos en un medio con oxígeno suficiente.

#### FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

En el proceso convencional de Lodos Activados, intervienen los siguientes factores:

- a) Calidad del influente.
- b) Calidad del efluente.
- c) Calidad de Lodos Activados.
- d) Equirrepartición del gasto o carga orgánica en las unidades de tratamiento.
- e) Transferencia de material orgánico al cultivo biológico y separación de sólidos del agua tratada.
- f) Centrel efectivo y disposición adecuada de residuos que reentran al proceso, come el licor sobrenadadamente de digestores.
- g) Mantenimiento de un medio apropiado para el desarrollo del cultivo biológico.

### - CALIDAD DEL INFLUENTE -

En un estudio realizado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGC O H), para evaluar la calidad de las aguas residuales que llegan a la planta y la calidad de las aguas renovadas; se encontró después de efectuar 24 muestreos, analizando 152 parámetros y contaminantes; y después de un análisis estadístico, que la calidad de las aguas (influyente) es distinta a la generada en el D.F., en los años 1973. Esta variación a través del tiempo ha llegado a conformar cuadros de contaminantes y parámetros distintos a los originales.

Entre los grupos de contaminantes cuya variación es mayor, figuran los hidrocarburos aromáticos halogenados, metales pesados totales y solubles e hidrocarburos aromáticos.

### INFLUENCIA INDUSTRIAL

Aunque se tiene evidencia de que existe influencia industrial en las aguas residuales, no se disponía de resultados para estimar cuantitativamente el nivel de influencia. Debido a esto se procedió a la estructuración de un índice de calidad y teniendo como referencia un agua residual típicamente doméstico, determinándose la influencia de acuerdo a intervalos en sus valores.

El índice se denominó, Índice de Calidad de las aguas

Residuales (ICAR) y los grados de influencia determinados según su valor, se muestran en el cuadro siguiente.

Influencia industrial	Influencia del valor del ICAR		
Mínima o nula	ICAR	3	
Baja	3	ICAR	6
Media	6	ICAR	9
Alta	9	ICAR	12
Muy alta	ICAR	12	

Influencia industrial según el valor del índice de Calidad de Aguas Residuales (ICAR)

Después de una evaluación probabilística de ocurrencia de la calidad de las aguas residuales, se obtuvieron los siguientes resultados.

Influente de la planta	Probabilidad de que se presente un valor de ICAR menor o igual a:			
	50%	80%	90%	95%
Cerro de la Estrella	3.8	5.75	7.1	8.1

De lo anterior se desprende que estos valores medios y bajos, son debido principalmente a la cercanía de industrias

cuyas descargas afectan en forma sensible a la calidad de las aguas residuales influentes.

### CALIDAD DEL EFLUENTE

La calidad obtenida en el efluente de la planta no sólo depende de la operación y del tren de tratamiento (lodos activados), sino de la calidad de los influentes y las variaciones de esta.

En los siguientes cuadros se muestran los parámetros de operación de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

#### PARAMETROS DE OPERACION DE LA PLANTA CERRO DE LA ESTRELLA

<u>CAUDAL</u>			<u>COMPOSICION</u>		
Medio	m <sup>3</sup> /d	800	PH	7.2	mg/l
Máximo	m <sup>3</sup> /d	900	O.D	1.2	mg/l
Mínimo	m <sup>3</sup> /d	200	DBO <sub>5</sub>	180	mg/l
			DQO <sub>4</sub>	458	mg/l
			SST	165	mg/l
			S. Sed.	2.0	

EFICIENCIA DE LA PLANTA

DBO <sub>5s</sub>	efluente	mg/l	10
Remoción	%		91
DQOs	efluente	mg/l	84
Remoción	%		91
Sólid. Sol. T	efluente	mg/l	32
Cloro libre			0.1

SEDIMENTACION PRIMARIA

Longitud	(m)	50
Ancho	(m)	10
Profundidad	(m)	2.5
Long. de vertedores		10
Carga Superficial	m <sup>3</sup> /d-m <sup>2</sup>	34.6
Carga en vertedores	m <sup>3</sup> /d-m	1 728
Remoción de lodos	%	70
Tiempo de retención a caudal medio	(h)	1.9

AERACION

Longitud	(m)	90
Ancho	(m)	10
Profundidad	(m)	5
Aereación por difusión	kg SSV-día	0.8 - 0.9

TRC	(d)	4 - 5
Caudal medio	mg/l	1 093
Caudal máximo	mg/l	1 712
Volátiles	%	44 - 60
Suministro de O <sub>2</sub>	kg/d	186 175.6
Nivel de Od	mg/l	2.4
Recirculación	%	20 - 60
Tiempo de retención		
a flujo medio	(h)	6.25
+ Recirculación	(h)	5.0
IVL		375
SST Recirculación	mg/l	6 500

#### SEDIMENTACION SECUNDARIA

Longitud	(m)	60
Ancho	(m)	10
Profundidad	(m)	3
Longitud de vertedores	(m)	180
Carga superficial	m <sup>3</sup> /d-m <sup>2</sup>	28.8
Carga de vertedores	m <sup>3</sup> /d-m <sup>2</sup>	160.0
Carga de sólidos	kg/m <sup>2</sup> -h	0.002485
Tiempo de retención	(h)	2.6
Remoción de lodos	%	50-60
		70

### CANTIDAD DE LODOS ACTIVADOS

La cantidad de Lodos Activados presentes en el proceso, será función de la cantidad de alimento (materia orgánica no viva) disponible (Gasto X DBO) debiendo remover el operador el lodo en exceso.

Es indispensable el control de la concentración adecuada de oxígeno en los tanques de aereación para obtener la máxima eficiencia de los microorganismos, con el mínimo consumo de energía.

### EQUIRREPARTICION DEL GASTO O CARGA ORGANICA EN LAS UNIDADES

La equirrepartición de flujo en unidades en paralelo es conveniente para el mejor control de la relación alimento a microorganismos. La concentración de sólidos suspendidos (microorganismos) en el aereador y sedimentador, es uno de los factores más importantes en el control del proceso.

La primera mide indirectamente la cantidad de microorganismos en el aereador (volumen aereador X concentración SS. en el licor mezclado) y la segunda, permite saber si existe acumulación nosiva de Lodos Activados en el sedimentador.

Debe puntualizarse la necesidad de extraer inmediatamente los lodos sedimentados para evitar su deterioro.

## TRANSFERENCIA DE MATERIAL ORGANICO Y DISPOSICION DE RESIDUOS

Algunos residuos del tratamiento reentran al proceso, como el exceso de lodo activados, cuya disposición más conveniente es el sedimentador primario. No se recomienda bombearlas directamente a los digestores anaeróbicos porque regresarán al tanque de aereación como sobrenadante, adicionando carga orgánica.

### MANTENIMIENTO DE UN MEDIO APROPIADO PARA EL DESARROLLO DEL CULTIVO

El mantenimiento de los microorganismos, requiere una concentración apropiada de oxígeno, evitando ácidos, bases y sustancias tóxicas, en cantidades que dañen al cultivo.

### DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

Consiste en un análisis previo bacteriológico de la muestra; se introduce la muestra en aparatos donde se les suministra oxígeno y se analizan los restos para obtener las bacterias remanentes y la materia celular conseguida, lo que da la proporción de oxígeno que se precisa.

En otras palabras, la demanda de oxígeno es la cantidad de oxígeno puro, adecuada para la depuración admisible y con este dato poder forzar el proceso artificialmente, suministrando en poco tiempo el oxígeno necesario para conseguir una síntesis acelerada.

En ningún caso deberá confundirse la demanda biológica de oxígeno, con la cantidad de oxígeno que se precisa para la saturación del agua que se produce en un tiempo mucho menor que el que da lugar al proceso biológico.

#### Consumo de aire

El aire contiene sólo 23.1% de oxígeno en peso, de modo que la cantidad mínima necesaria de aire por unidad de D B O será de  $1/0.231 = 433$  kg aire/kg DBO. El peso específico del aire, varía con la temperatura y con la presión atmosférica.

#### Compresión de aire (potencia exigida)

La presión que se debe suministrar al aire exigido por el proceso de depuración biológica, está determinada por la altura (H) de la lámina de agua, en cada uno de los recipientes, multiplicada por el peso específico (w) del líquido. Expresada en metros de columna de agua es:

$$m C A = H w$$

#### COAGULACION Y FLOCULACION

**Coagulación:** Se deriva del Latín coagulare, que quiere decir juntar. Este proceso describe el efecto producido por la adición de un producto químico a una dispersión coloidal que se traduce en la desestabilización de las partículas por una reducción de aquellas fuerzas que tienden a

mantenerlas separadas.

Desde el punto de vista operativo, la coagulación se logra añadiendo el producto químico apropiado para que las partículas se aglomeren cuando establezcan contacto entre sí. En esta fase para obtener una dispersión uniforme del producto químico y aumentar las oportunidades de contacto entre las partículas, una mezcla rápida es muy importante.

El proceso transcurre en un tiempo muy corto (en menos de 1 seg.), e inicialmente conduce a la formación de partículas de tamaño submicroscópico. La segunda fase de formación de partículas sedimentales a partir de partículas desestabilizadas de tamaño coloidal se conoce por "Floculación".

**Floculación:** Este término derivado del latín (floculare)

significa, formar un floculo que se asemeja a una pelusa o lana, o una estructura porosa muy fibrosa. Al revés que en la coagulación, donde la fuerza primaria es de tipo electrostático o interiónico, la floculación se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Desde el punto de vista operativo, la floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico, en otras suspendidas discretas y visibles.

**PARTES CONSTITUTIVAS DEL PROCESO**

Las siguientes partes constitutivas, se deben sujetar a revisión, al arrancar una planta.

**A.- Funcionamiento hidráulico**

- a) Válvulas
- b) Compuertas
- c) Placas vertedoras

**B.- Suministro de aire****B1.- Difusión de aire:**

- a) Sopladores
- b) Filtro de aire
- c) Medidores de aire
- d) Tuberías y bajadas
- e) Difusores

**B2.- Asociación mecánica**

- a) Motor
- b) Reductor
- c) Impulsor

**C.- Bombeo**

- a) Bombas de recirculación
- b) Bombas de exceso de lodos

**D.- Sedimentación**

- a) Sistema de extracción de lodos
- b) Sistema de concentración y recolección de lodos

**E.- Accesorios****a) Sistema de control de espuma****DESCRIPCION DEL EQUIPO.**

La remoción de lodos sedimentados en el primario, consta de:

Rastras que estan fijadas a la cadena sin fin por la silleta o por rastra,

Dos desnatadores de tubería de 12" de diámetro.

Ocho catarinas.

Cuatro flechas.

Motor de 3/4 HP

440 rpm.

Reductor de velocidad 0.8 rpm.

64 rastras cuyas dimensiones son:

Ancho : 15 cm

Espesor : 7 cm

Longitud : 4.71 m

### Aeración

Se tienen tres equipos para la generación de aire; cada soplador consta de:

- Sistema de enfriamiento (intercambiador de calor)
  - Ocho termómetros de presión con escala 0-150 °C
  - Tres manómetros de presión con escala 0-10 kg/cm<sup>2</sup>
  - Una bomba auxiliar para efectuar la lubricación
  - Motor de 1 485 rpm., con 1 HP de 880 acoplado a un incrementador de 8 400 rpm.
  - Tablero de control (arrancador) con reactor para baja tensión.
  - Una válvula de mariposa de 20 pulgadas de diámetro para regular la salida del aire.
  - Filtros de aire con dimensiones:
    - Largo 3.0 m
    - Ancho 4.85 m
    - Altura 5.00 m
- Generación de aire 36 000 m<sup>3</sup>/hora

En la galería de aeración, se cuenta con dos válvulas de 30" de diámetro (tubería color aluminio)

- Dos válvulas de 4" de diámetro, integradas a las válvulas de 30" de diámetro.
- Dos medidores de aire con escala de 0-350 m<sup>3</sup>/hora
- Treinta y cinco metros de tubería de 36" de diámetro, en-

samblado a una tubería de 30" de diámetro.

Entre los filtros y la sala de sopladores, se cuenta con dos válvulas de mariposa de 36" de diámetro; su función es para controlar el aire hacia las unidades en operación.

- Válvula de 12" de diámetro para el exceso de lodos.
- Válvula de 6" de diámetro para descarga de lodos del medidor.

#### Equipo por tanque

- Quince cabezales
- Treinta y siete difusores
- Una boquilla kammerson
- Setenta unidades de asperción (15 por vaso)

#### Sedimentación secundaria

##### Equipo por tanque

- 74 rastras de madera con dimensiones:
  - Ancho: 15 cm
  - Espesor: 6.5 cm
  - Largo: 4.71 m
- 12 catarinas
- 12 chumaceras
- Un motor de 3/4 HP 1 440 rpm., acoplado a un reductor de 0.8 rpm.
- Cuatro cadenas sin fin

- Tres válvulas para recirculación de lodos de 6" de diámetro.
- Tres válvulas de 2" de diámetro (tubería de aire color aluminio) utilizados para la extracción de lodos.
- Dos válvulas de 12" de diámetro localizadas en las galerías de secundarios (drenaje del canal de recirculación de lodos)

#### Desinfección

- Un diferencial para cinco toneladas
- 18 vasos para cilindros con intensidad en Kg de cloro
- Nueve tomas de cloro
- Nueve válvulas de 3/4"
- Un evaporador de cloro
- Dos válvulas de 1" de diámetro, entrada y salida de cloro sobre el evaporador.
- Una válvula automática colocada a la salida del evaporador de cloro.
- 3 bombas de 10 HP para la mezcla cloro-agua con una carga dinámica de 60 m.
- Un clorador manual con escala 0-2000 lbs/día
- Dos cloradores automáticos con escala 0-2000 lbs/día
- Dos bombas auxiliares para el sistema de mezcla cloro-agua con 1 HP
- Carcamo de bombeo
- Equipo instalado.
- Tres bombas de 300 HP (canales Xochimilco)
- Dos bombas de 150 HP (Calzada Ignacio Zaragoza)
- Una bomba rompe-espuma de 30 HP

### PARAMETROS DE CONTROL

Normalmente se utilizan dos parámetros.

- a) Índice volumétrico de lodos (IVL) o Índice de MOHLMAN que se define como el volumen de lodos en ml., que contiene 1 gramo de sólidos secos. El volumen se mide por sedimentabilidad a los 30 minutos en probeta de 1000 ml.

Su valor óptimo debe ser normalmente menor de 100 (40 a 50) variará con las horas del día y puede llegar hasta de 150.

Volumenes mayores de 200, indican problemas de "abundamiento" (bulking), dando como resultado una pobre clarificación a el sedimentador.

- b) Índice de Densidad de lodos (I D L) o Índice de DONALDSON.

Es el porcentaje en peso (gramos), de una unidad de volumen (en ~~mililitros~~) de lodo, despues de sedimentar el licor aerado durante 30 minutos.

La relación entre los dos índices, es la siguiente:

$$\text{Índice de MOHLMAN} = \frac{100}{\text{INDICE DE DONALDSON}}$$

El índice de DONALDSON variará de 2 para un buen lodo a 0.3 o menos para uno malo.

c) Edad del lodo o Edad de Gould (en días)

Se recomienda este parámetro tanto por sencillo, como por involucrar dos de los factores importantes en el proceso: alimento que entra y microorganismos disponibles.

Es el peso seco de los sólidos suspendidos en el sistema (en libras) dividido por el peso en seco de los sólidos suspendidos en el influente diario (libras por día).

### C A P I T U L O   I I I

#### PROCESO DE TRATAMIENTO UTILIZADO EN PLANTA

##### PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

El proceso consiste en la degradación de materia orgánica no viva, que existe dentro de las aguas residuales; esto se logra al poner una cantidad de microorganismos (biomasa) que utiliza a la materia orgánica (sustrato) como alimento para desarrollar sus funciones vitales; el sustrato es oxidado a bioóxido de carbono y agua como productos finales.

Para llevar a cabo este proceso, se requiere de niveles de tratamiento tales como:

- +      Tratamiento preliminar
- +      Tratamiento primario
- +      Tratamiento secundario

La función del tratamiento preliminar, es acondicionar las aguas residuales para evitar perjuicios a los equipos de bombeo, separando los sólidos de mayores dimensiones y el material flotante.

El tratamiento primario consiste en la separación de sólidos suspendidos, grasas, aceites y material flotante de las aguas residuales; esto se logra bajando la velocidad del agua a la entrada del tanque de sedimentación primaria,

dándole el tiempo suficiente para que los sólidos suspendidos se sedimenten por gravedad; posteriormente son empujados hacia las tolvas de recolección de donde son extraídos y desalojados.

El material flotante se elimina por medio de dos desnatadores de tubería de 12" de diámetro.

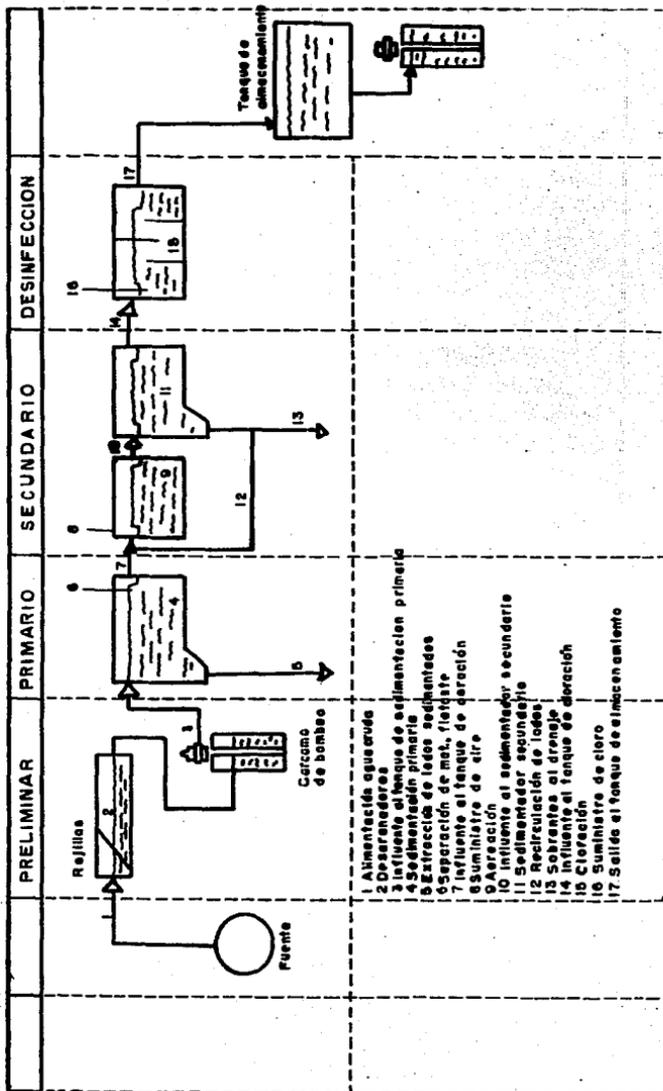
El tratamiento secundario se divide en dos partes: aeración y sedimentación secundaria.

En el tanque de aeración se lleva a cabo la oxidación biológica y es donde se provee los requerimientos de nutrientes y oxígeno necesario para la degradación de la materia orgánica y se mantiene en suspensión la biomasa y el nivel de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVM) mediante la tasa de recirculación adecuada.

La sedimentación secundaria consiste en separar los floculos del licor mezclado, clarifica el efluente y colecta los lodos activados en las tolvas para recircularlos al tanque de aeración.

Esto constituye el proceso convencional de lodos activados, apoyado por otros procesos auxiliares como la desinfección.

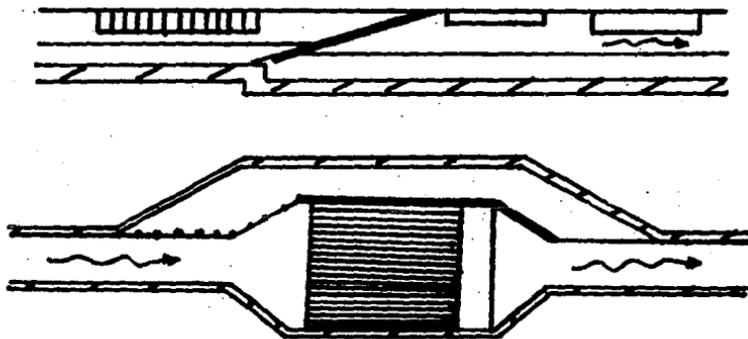
DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



### TRATAMIENTO PRELIMINAR

El tratamiento preliminar o pretratamiento, se lleva a cabo fuera de la planta; esto es en la estación que recibe las aguas del carcamo del sistema de Aculco. El tipo de agua que llega al carcamo es de origen residual, es decir, está compuesto de desechos domésticos con influencia industrial.

El tratamiento consiste en la eliminación de sólidos gruesos (materia orgánica de tamaño considerable, así como gravas, trapos, etc.), con el objeto de evitar que se dañen los equipos de bombeo; esto se logra por medio de rejillas.



Rejilla de limpieza manual

Con lo anterior se consigue lo siguiente:

- a).- La protección del equipo mecánico móvil de abrasión y excesivo desgaste.
- b).- La reducción de obstrucciones en tuberías causadas por depósitos de las partículas anteriores o lodos pesados en tuberías y canales, particularmente en los cambios de dirección.
- c).- La reducción en la frecuencia de limpieza en sedimentadores, como resultado de una excesiva acumulación de arena.

Principales criterios y normas para la operación y mantenimiento del Tratamiento Preparatorio y Sedimentación.

### SEDIMENTACION PRIMARIA

#### Objetivos

- Separa sólidos sedimentables y flotables de las aguas residuales.
- Iguala la concentración de las aguas residuales durante el tiempo de retención en el tanque.
- Detecta características particulares de las aguas crudas de manera de poder definir el control en el resto de unidades de la planta. El proceso se realiza normalmente con unidades tipo flujo continuo.

### REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

- Los sólidos suspendidos, pueden ser granulares o floculentos (floculos).
- Los granulares sedimentan a velocidad constante, independientemente más de otras, sin cambio en el tamaño, forma o peso.
- Las floculentas, tienden a adherirse durante la sedimentación, con cambios en tamaño, forma y densidad relativa.
- Los sólidos sedimentables, forman la parte de material que

se asienta en condiciones estáticas en un tiempo razonable

- El tratamiento químico se usa cuando se desea remover materia suspendida, finamente dividida y material coloidal que normalmente no se remueve por sedimentación simple. Los productos químicos reaccionan con estas constituyentes para formar floculos pesados que precipitan.

#### REMOCION DE FLOTANTES

Los flotantes denominados grasas, incluyen además: ácidos, grasas, ceras y jabones.

Bajo condiciones de aquietamiento, parte de la grasa sedimenta con el lodo y parte flota a la superficie donde se remueven por un dispositivo adecuado.

La eficiencia de la flotación se puede aumentar empleando aire comprimido.

#### FACTORES QUE AFECTAN LA SEDIMENTACION

- Configuración del tanque.
- El tanque está definido por sus dimensiones, la entrada del agua cruda y la salida del agua sedimentada.
- Las dimensiones fijan la carga superficial o tasa de derrame y el tiempo de retención para un gasto de agua entrante. La tasa de remoción de partículas granulares que sedimentan a velocidad uniforme, depende exclusivamente del área superficial del tanque, mientras que la de las

partículas flocculentas que sedimentan a velocidades variables depende además de la profundidad del tanque.

El tiempo de retención, es el tiempo nominal requerido por las aguas residuales para fluir através del tanque a un gasto dado.

$$tr = \frac{\text{capacidad del tanque}}{\text{gasto de agua}}$$

Este tiempo debe ser el suficiente para permitir la remoción, prácticamente completa de los sólidos sedimentables. Los periodos demasiado largos, no mejoran la eficiencia de remoción, siendo por el contrario peligrosos, pues permiten que las aguas residuales se tornen septicas.

Como las dimensiones de los tanques de sedimentación son fijas, la tasa de derrame y el tiempo de retención variarán con el gasto, resultando eficiencias variables.

Las estructuras de entrada y salida, juegan un papel importante en el proceso. En la entrada se reduce la velocidad de llegada y se distribuye el flujo uniformemente en la sección transversal del tanque por medio de aberturas, mamparas u otras formas. En la salida se extrae el líquido clarificado, controlando los flotantes, para lo cual se usan canales vertederos con mamparas.

#### CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

El proceso se afecta por la concentración y envejeci-

miento de las aguas residuales, la temperatura, la cantidad y tipo de desechos industriales y las características físicas de las partículas.

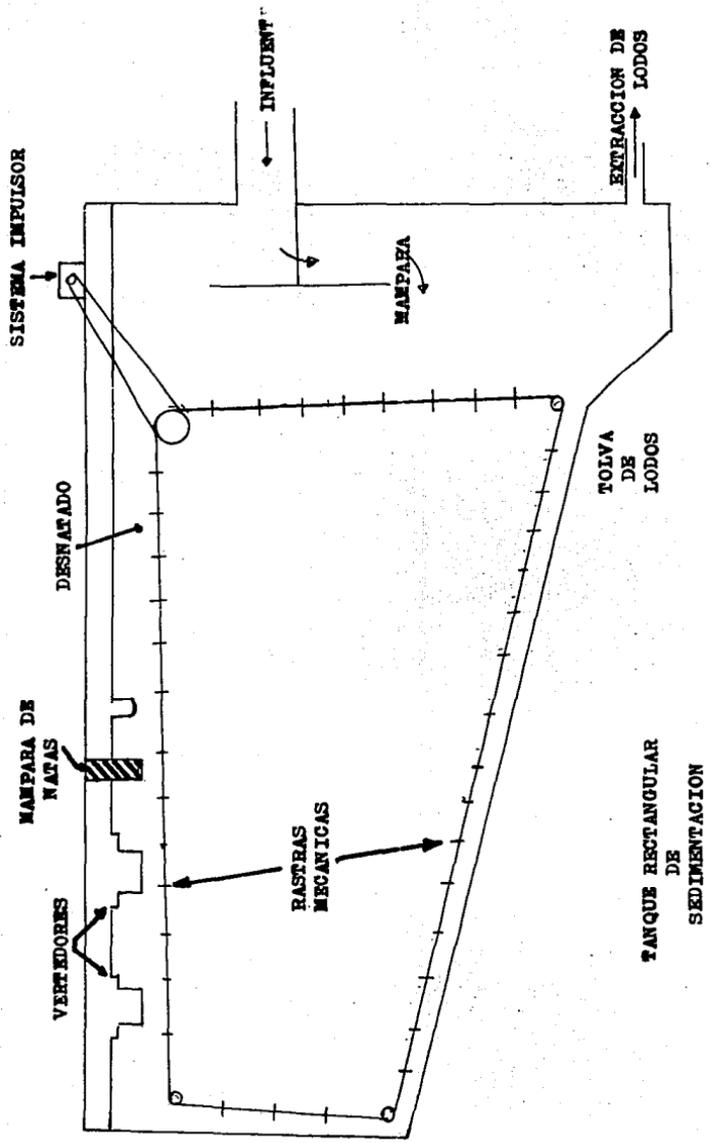
Las aguas concentradas, sedimentan más rápidamente que las aguas más diluidas.

### TRATAMIENTO PRIMARIO

En la unidad correspondiente al Tratamiento Primario, se retira del agua residual los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables en el proceso físico de sedimentación, así como materia flotante, reduciendo la velocidad de flujo. La sedimentación es simple y el barrido de lodo es mecánico, por medio de rastras que están fijadas a una cadena sin fin (ver figura).

Los tanques de sedimentación primaria, cuentan con dos desnatadores de tubería de 12" de diámetro.

Dos válvulas de alimentación de agua cruda, tubería de 16" de diámetro color azul marino, tres válvulas de purga para los lodos sedimentables (tubería de 12" color naranja) y un rotor de 3/4 HP de 1 440 rpm., acoplado al incrementador de baja velocidad de 0.8 rpm., que acciona el equipo de barrido de lodos y natas, consistentes en 64 rastras con dimensiones de 15 cm., de ancho, 7 cm., de espesor y 4.71 m., de longitud.



**TANQUE RECTANGULAR  
 DE  
 SEDIMENTACION**

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

Como ya se dijo anteriormente, el Tratamiento Secundario se divide en Aeración y Sedimentación Secundaria, donde cada uno de estos procesos se realiza por separado.

### Aeración

Es donde se lleva a cabo el proceso de oxidación biológica, generando aire en el tanque de aeración. Para producir este aire se cuenta con tres sopladores con una capacidad de 36 000 m<sup>3</sup>/h cada uno, respectivamente.

Un soplador se utiliza para aerar cuatro módulos, ya que se debe mantener un mínimo de 2 mg/lit de oxígeno en el licor mezclado, durante su período de contacto con las aguas residuales.

Cada soplador cuenta con un sistema de enfriamiento (intercambiador de calor), tres manómetros de presión a escala de 0-10 kg/cm<sup>2</sup>, ocho termómetros con escala de 0-150°C, una bomba auxiliar para efectuar la lubricación, un motor de 1 485 rpm., con 1 HP de 880 acoplado a un incrementador de 8.400 rpm., una válvula de mariposa de 20 pulgadas de diámetro para regular la salida de aire y un filtro.

### Sedimentación Secundaria

Los lodos que sedimentan, son barridos por las rastras y depositados en una tolva de donde se extraen continuamente

por medio de presión de aire.

Estos lodos son recirculados a los tanques de aereación; se cuenta con tres válvulas por tanque, que son los responsables de la extracción de los lodos. El equipo por tanque es el siguiente: 74 rastras de madera, 12 catarinas, 12 chumaceras, un motor de  $3/4$  HP 1 440 rpm., acoplado a un reductor de 0.8 rpm., cuatro cadenas sin fin, tres válvulas de 6 pulgadas de diámetro localizadas en las galerías del secundario (drenaje del canal de recirculación de lodos).

La recirculación de lodos se efectúa por medio del canal que se localiza en el pasillo de los vasos aereadores cuyas dimensiones son: 1.05 m de ancho, 0.56 m de profundidad y 100 m de largo.

#### DESINFECCION

El proceso de Desinfección del agua tratada, se efectúa con cloro líquido que se extrae del cilindro mediante la válvula localizada en la parte inferior. El cloro líquido se transporta por una tubería de  $3/4$ " de pulgada de diámetro hacia el evaporador que se opera con una presión de 60 a 120 lb/pulg., y con una temperatura de agua de 120 °F. De ahí pasa a mezclarse con agua tratada y se inyecta al cárcamo de contacto de cloro.

El equipo de desinfección, cuenta con un diferencial para cinco toneladas, 18 vasos para cilindros con capacidad de

242 kg., de cloro, nueve tomas de cloro, nueve válvulas de 3/4, un evaporador para cloro, dos válvulas de 1" de diámetro, entrada o salida de cloro sobre el evaporador.

Válvula automática conectada a la salida del evaporador de cloro, tres bombas de 10 HP, la mezcla cloro-agua cuenta con una carga cinámica de 60 metros, un clorador manual con escala 0-2000 lbs/día, dos cloradores automáticos con escala a 0-3000 lbs/día, un tablero de alarma, dos bombas auxiliares para el sistema de mezcla cloro-agua de 1 HP.

#### Cárcamo de bombeo

Una vez que se tiene el nivel adecuado en el cárcamo de bombeo, el equipo de bombeo envía agua tratada hacia los canales de Xochimilco y Zaragoza; para regular el volumen de agua en el cárcamo, debe abrirse o cerrarse el desfoge del sistema de bombeo hacia el cárcamo; para el bombeo se cuenta con tres bombas de 300 HP para los canales de Xochimilco, dos bombas de 150 HP para la Calzada Ignacio Zaragoza, una bomba de 30 HP para el sistema de rompe espuma y el equipo se acciona con seis arrancadores.

### TRATAMIENTO TERCIARIO

Se piensa en este tratamiento como una alternativa a la recuperación (reciclaje) de aguas residuales con fines de uso industrial, lo que aliviaría de alguna forma el volumen de agua potable que actualmente consumen estas industrias.

Evidentemente la calidad de agua alcanzada con este tratamiento, no tendría las mismas propiedades que un agua potable, ni tendría que ser necesariamente útil a todas las industrias en sus procesos, en los que necesariamente tenga que utilizarse el agua potable; pero sí podrá usarse en los procesos, en los que se requiera un tipo de agua con las características de agua renovada. Es decir, se podrá utilizar en procesos como: alimentación a calderas, en sistemas de enfriamiento, en sanitarios, etc.

Por otra parte, ni el tratamiento convencional de aguas residuales, ni los procesos convencionales de purificación de aguas, prometen alcanzar el equivalente a la evaporación y condensación de aguas. La remoción de 90 a 95% de los sólidos en suspensión. La DBO y la DQO de las aguas de desecho antes de la descarga de los efluentes a las aguas receptoras, no se considera suficientes, así como tampoco la purificación natural subsecuente de las aguas receptoras, para ser usadas nuevamente por el hombre; es aceptada como suficientemente rigurosa para proporcionar los requisitos de seguridad y sabor, y la utilidad general de tales aguas. Los residuos de la sínte-

sis de productos químicos orgánicos y de la diseminación de biocidas químicos, son nuevos contaminantes.

Bajo tales circunstancias, es conveniente efectuar una desviación de los procesos convencionales hacia otros no convencionales, junto con una intensificación de la acción compensadora dentro del ciclo de uso del agua.

Se supone que una renovación general de aguas, aplicando una tecnología, estará relacionada con:

- 1.- La adición de una etapa terciaria al tratamiento primario y secundario de todas las aguas residuales.
- 2.- El encarecimiento de la purificación natural de las aguas receptoras y de su mejor protección contra los flujos de tormentas, sus derrames y los drenajes agrícolas.
- 3.- Una administración más estricta de la calidad de las aguas regionales como parte del recurso total natural.
- 4.- La adición de procesos altamente selectivos, a los métodos disponibles de purificación, para el abastecimiento de agua.

## PROCESOS NO CONVENCIONALES

Dentro de los procesos no convencionales más importantes tenemos: el proceso de adsorción, la desmineralización del agua mediante electrodialisis, intercambio iónico, ósmosis invertida, destilación y congelación, además de la oxidación y filtración.

### Adsorción

La adsorción sólido-líquido, desempeña una función muy importante en la variedad de procesos de tratamiento para aguas residuales, aun como un proceso potencial para la conservación del agua salina. Sin embargo su comportamiento como una operación unitaria independiente, es diferente. En este sentido, la adsorción tiene hasta ahora una importante aplicación directa en el tratamiento y análisis de aguas, solamente en dos operaciones:

- 1) La remoción de colores y sabores indeseables del agua potable.
- 2) La concentración de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos, para la prueba CCE (pruebas de cantidades benéficas de yoduros). En ambas operaciones, el carbón activado ha sido, hasta ahora, el adsorbente elegido.

Existe la esperanza de aplicar los principios de adsorción a otras operaciones y materiales, así como de identi-

car la contribución de la adsorción a funciones mixtas o múltiples de purificación. Entre las operaciones especializadas, se encuentra el transporte útil de la fase líquida a la sólida de sustancias como:

- 1) Productos químicos, bactericidas y residuos químicos que pueden interferir y aun impedir el tratamiento biológico de las aguas residuales.
- 2) Sustancias químicas que son geológicamente desagradables en forma total o parcial y que pueden dejar residuos ofensivos en los efluentes y aguas receptoras y
- 3) Cantidades pequeñas de sustancias tóxicas, que pueden llegar a afectar la salud de las poblaciones, la de los animales y la ecología normal de las aguas receptoras.

Además, es conveniente definir la posible participación de la adsorción en las operaciones de transporte y transferencia de todos aquellos casos en que se crean interfaces relativamente grandes, como entidades estáticas, o se generan como entidades dinámicas mediante renovación de la interfaz o por prevención o destrucción de películas interfaciales, a través de las cuales las sustancias se transportan con dificultad a velocidades bajas.

#### Electro diálisis

Se usa este método para desalar el agua a través de membranas selectivamente permeables respecto a los cationes

o los aniones. Diálisis es el fraccionamiento de solutos que es posible efectuar mediante diferencias en la velocidad de difusión de solutos específicos a través de membranas porosas. Las membranas semipermeables, son delgadas barreras que ofrecen un paso fácil a algunos constituyentes de una solución, pero que son altamente resistentes al paso de otros constituyentes.

### MÉTODOS DE INTERCAMBIO DE IONES

Existen en el mercado ciertos silicatos naturales o compuestos, producidos sintéticamente, que tienen la propiedad de intercambiar ciertos iones albergados en su estructura por iones del agua. En particular, algunos de estos materiales cambian cationes como Sodio o Hidrógeno por Calcio y/o Magnesio. Al retener calcio y magnesio, ablandan el agua. Lo notable, es que es posible, cuando la capacidad del material se agota, de renovarlo mediante un proceso que se llama regeneración.

#### Tipos de intercambiadores cationicos

Los intercambiadores inorgánicos, fueron los primeros en ser utilizados recibiendo el nombre de "Zeolitas". Son silicatos complejos, denominándose glauconitas a las zeolitas naturales, a las que sólo se someten a refinado y clasificación granulométrica. Las inorgánicas sintéticas, son del tipo gel; tienen menor resistencia a aguas agresivas, pero una mayor capacidad de intercambio. Ambas tienen el inconveniente que ceden sílice al agua de bajo contenido de la misma

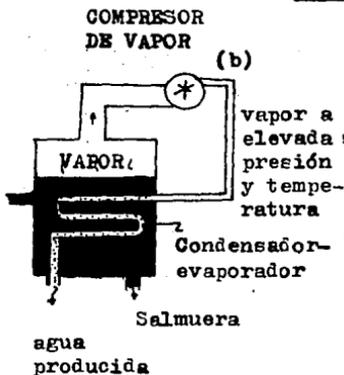
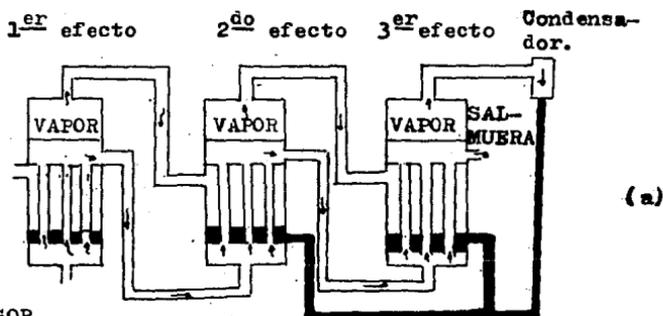
## PROCESOS EN LOS QUE EL CONSTITUYENTE REMOVIDO ES EL AGUA

## DESTILACION

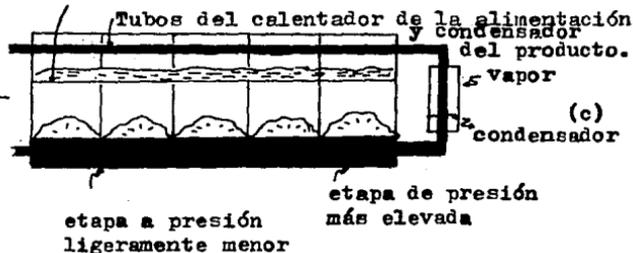
De los procesos que remueven el agua de las soluciones salinas, la destilación es la más antigua y en relación con las plantas establecidas, el más productivo. Difiere de otros procesos en que se hace pasar el agua a través de la fase vapor. Es de interés el hecho de que es fácil calcular el potencial de esta operación, en relación con el trabajo mínimo que se va a efectuar mediante la energía térmica aplicada. Por ejemplo, si la energía necesaria se deriva del vapor, como generalmente sucede, el requerimiento mínimo de trabajo, es una función de la temperatura del vapor. Debido a que el vapor saturado puede suministrar cerca de 205 BTU por libra (114 cal por kilogramo) de energía en forma de trabajo cuando se considera a presión atmosférica y se descarga a una temperatura alrededor de 70 °F (21.1°C), el volumen de agua producida es de 100 gal. (378.5l) cuando se utilizan eficientemente 47 lb (21.4 Kg) de vapor. Se puede concluir que el valor comercial del vapor a presión atmosférica es, por lo tanto, igual al precio de 2.5 Kwhr de energía eléctrica, aproximadamente. Esta cantidad es útil para estimaciones preliminares, reconociendo simultáneamente que, además de los costos finales, la eficiencia de la producción y utilización de la energía, es el factor controlante de los costos en las plantas de destilación.

Por consiguiente, el diseño de las plantas se dirige  
 1) a captar las fuentes más económicas de energía térmica, y  
 2) a explotar los procesos más eficientes de transferencia de calor. Además, se ofrece un objetivo del costo, por la posibilidad alterna de suministrar agua desde una fuente natural de agua dulce.

En la siguiente figura se ilustran tres tipos de evaporadores: un evaporador de múltiple efecto, un evaporador instantáneo de etapas múltiples, y un destilador por compresión del vapor.



Charola para coleccionar las gotas de agua que caen de los tubos del condensador.



### EXTRACCION POR SOLVENTES Y OSMOSIS INVERSA

Los solventes orgánicos que son parcialmente solubles en agua, pueden producir: 1) Una salmuera más concentrada y 2) Un extracto de solvente y agua dulce, del que se puede extraer agua dulce después de que el extracto se ha separado de la salmuera y se ha calentado para reducir la solubilidad del agua en el solvente.

La presión osmótica, al buscar el equilibrio, impulsa a las moléculas de agua a través de una membrana permeable, desde una solución diluida hacia otra concentrada. Esta respuesta natural se puede invertir al colocar el agua salina a presiones hidrostáticas mayores que la presión osmótica. De ahí proviene el término ósmosis inversa.

### OXIDACION

La oxidación se usa para remover el hierro y el manganeso.

En este caso existen varias modalidades entre las que se cuentan: a) Aereación, sedimentación y filtración; b) Aereación, adición de sustancias químicas, sedimentación y filtración; c) Hierro y magnesio en combinación con materia orgánica, es decir, que se requiere además de la aereación, la adición de álcali, suficiente para elevar el PH entre 8.5 y 9.6, permitiendo de esta manera la remoción por sedimentación y filtración.

## FILTRACION

En este proceso, se hace pasar el agua cruda a través de un medio filtrante constituido generalmente por materiales granulares.

Estos filtros se han aplicado al tratamiento de agua de diversa calidad, con resultados adecuados. Es decir en el tratamiento de agua potable, por ejemplos se ha logrado una buena remoción de sólidos, si el agua es previamente sedimentada. En el caso de aguas residuales, deberá tener un tratamiento previo, dependiendo de su calidad a fin de que llegue al sistema de filtración con las condiciones adecuadas.

De los métodos de tratamiento terciario descritos anteriormente, se puede definir que el más adecuado para obtener un agua adecuada a un uso industrial, es el de filtración, dado que en esta método se remueve el hierro y el manganeso, proceso que corresponde a la oxidación.

Cabe señalar que independientemente de los procesos de desmineralización, los métodos químicos tratan una carga sumamente baja si se compara con el gasto de agua tratada que se tiene después del tratamiento secundario en la planta Cerro de la Estrella; además de que un diseño por estos métodos, implicaría instalaciones gigantescas y por ende muy costosas.

## CAPITULO IV

## TRATAMIENTO POR MEDIOS FILTRANTES

## TIPOS DE FILTROS.

Los tipos de filtros que se emplean en el tratamiento del agua, se clasifican de diferente manera; las más usuales son: en cuanto a su tasa de filtración, la clase de medio filtrante que utilizan, el tipo de flujo que se produce en el lecho filtrante y en si trabaja o no a la presión atmosférica.

En base a su velocidad o tasa de filtración, los filtros pueden ser lentos o biológicos y rápidos o mecánicos. Los primeros, generalmente operan a tasas que varían entre 1.0 y 9.0  $m^3/m^2/día$ ; mientras que los segundos, dependiendo del tipo de agua por filtrar varían desde 58.5  $m^3/m^2/día$  hasta valores tan altos como 468  $m^3/m^2/día$ .

De acuerdo con la clase o tipo de medio filtrante que utilizan, se clasifican en filtros de: arena y grava, antracita o sea carbón mineral, antracita y arena, lechos múltiples, lecho mezclado o de tierra diatomácea.

En base al tipo de flujo que se produce en el medio filtrante, los filtros pueden ser: de flujo descendente, de flujo ascendente, o de flujo ascendente descendente.

Finalmente, los filtros también se clasifican en filtros de gravedad o sea a superficie libre y en filtros de presión o sea los confinados en recipientes cerrados que trabajan con presiones mayores que la atmosférica.

### FILTROS LENTOS

Los filtros lentos de arena o filtros biológicos, fueron los primeros filtros diseñados y construidos específicamente para mejorar la calidad del agua destinada al consumo de las poblaciones.

Estos filtros también se llaman biológicos, porque para que el agua que pasa a través de ellos se filtre eficientemente, es necesario que se desarrolle sobre los granos que forman el medio filtrante, tanto en la superficie como dentro de él, una delgada capa gelatinosa de numerosos microorganismos con gran actividad biológica que actúa como un cedazo, en donde se retiene la mayor parte del material en suspensión y al mismo tiempo se degrada a sus constituyentes más simples, la materia orgánica retenida.

Debido a sus características, este tipo de filtros se utiliza preferentemente para filtrar directamente el agua cruda sin ningún acondicionamiento previo; sin embargo su aplicación tiene ciertas limitaciones, sobre todo cuando se trata de aguas muy turbias, ya que entonces el medio filtrante se obtura rápidamente, lo que obliga a efectuar su

limpieza a intervalos demasiado frecuentes. Es por esto que sólo se recomienda su utilización cuando la turbiedad del agua en períodos largos no sobrepasa las 50 unidades de turbiedad, aunque ocasionalmente pueden aceptarse durante cortos lapsos, valores hasta de 100 o 200 unidades como máximo de turbiedad. Algunos autores, recomiendan también que el color del agua cruda no conviene que sea mayor de 30 unidades.

Básicamente, el filtro lento consiste en un tanque enterrado o semienterrado de 3.00 a 4.00 m de altura construido con muros verticales de concreto o de mampostería, o con terraplenes inclinados protegidos con concreto, mampostería, suelo-cemento o algún material similar. En climas cálidos el tanque puede quedar a cielo abierto, pero en climas fríos es necesario techarlo a fin de evitar el congelamiento del agua.

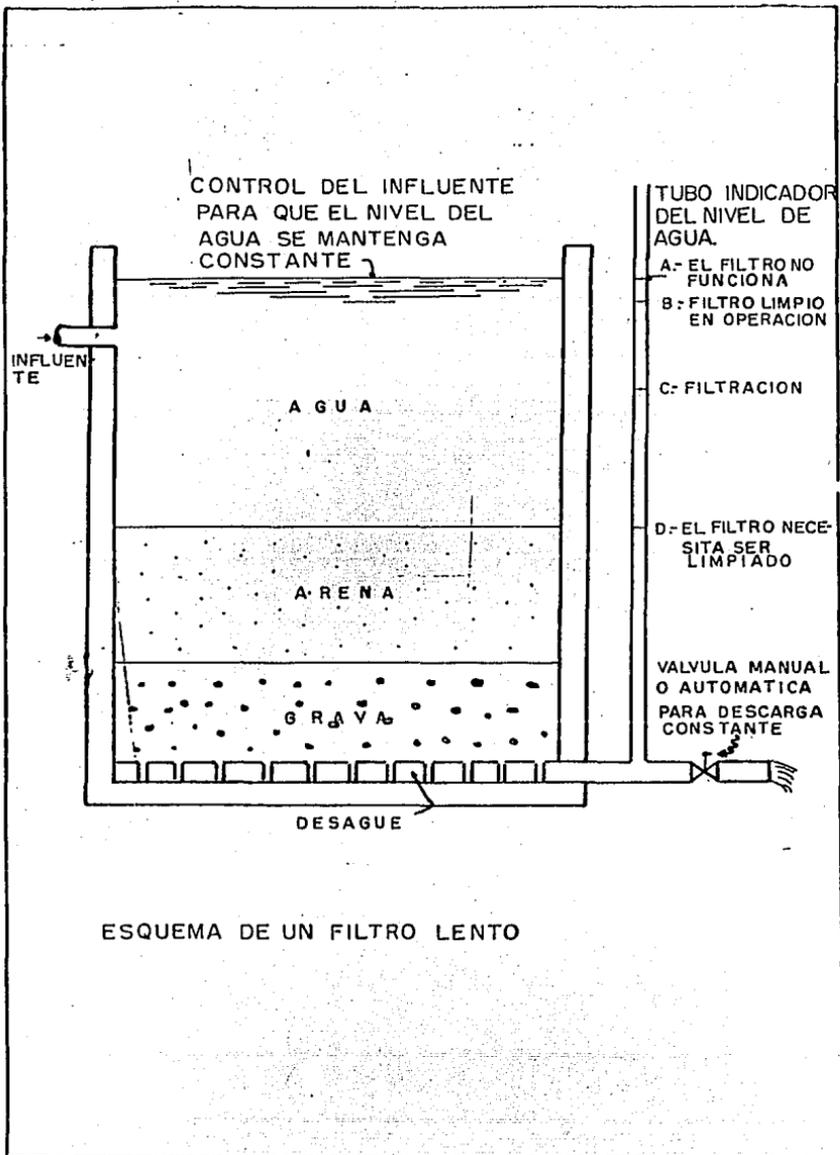
El area del o los filtros (ya que en instalaciones pequeñas debe haber cuando menos dos filtros), depende del gasto por tratar y de la tasa de filtración, la cual como ya se dijo puede variar entre 1.0 y 9.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día.

La forma del filtro puede ser circular, rectangular o cualquier otra; no obstante se diseñan preferentemente de forma rectangular. Sobre el fondo del filtro se instala lo que se conoce como el sistema de bajo-drenes del mismo, que tiene dos finalidades; una consiste en darle fácil salida al agua filtrada y la otra en soportar el medio filtrante. Estos bajo-drenes pueden construirse con diversos tipos de ma-

terillos, de preferencia los que se consiguen localmente, tales como tubos perforados de barro-cocido de concreto o de asbesto-cemento, ladrillos colocados haciendo puente sobre otros ladrillos o secciones semi-circulares precolados de concreto.

Encima de los bajo-drenes, se colocan varias capas de grava graduada que sirven de soporte y de retención al lecho filtrante de arena, cuyas especificaciones se detallan adelante.

Muy brevemente, la operación del filtro lento, que puede ser manual o automática, es como sigue: sobre el lecho de arena se tiene un tirante constante de agua que varía según el caso entre 1.0 y 1.50 m., la que al pasar por el medio filtrante, sufre la remoción de casi todo el material suspendido que contiene y de ciertos materiales en solución. La salida del filtro se regula de manera que se tenga un gasto más o menos uniforme de filtración durante todo el ciclo del mismo. Al transcurrir éste va aumentando la pérdida de carga en el filtro (que al inicio es de aproximadamente 0.10 m., de columna de agua) hasta llegar a un valor prefijado admisible de alrededor de 1.20 m., de columna de agua. Alcanzada esta máxima pérdida de carga, se cierra la entrada del agua cruda a fin de proceder a la limpieza del filtro, la cual se realiza quitando una capa superficial del lecho de arena de 2 a 5 cm de espesor, que es en donde se acumula la mayor parte de los materiales removidos. Hecho esto, el filtro se vuel-



ESQUEMA DE UN FILTRO LENTO

ve a poner en operación. La arena sucia que se quitó del lecho filtrante, puede descartarse o guardarse para lavarla y volverla a colocar en el filtro cuando se alcance la máxima profundidad en que puede removerse el medio filtrante.

### RECOMENDACIONES DE DISEÑO DEL MEDIO FILTRANTE

#### (FILTROS LENTOS)

Como se señaló anteriormente, el medio filtrante de estos filtros, está constituido por el lecho de arena y por la grava que le sirve de retención y soporte; las especificaciones más usuales de estos materiales derivados de la experiencia que de la investigación son:

#### a) Arena

Debe estar libre de polvo, arcilla, materia orgánica u otros materiales extraños.

No deberá contener más del 2% de calcio o magnesio, como carbonatos.

Su forma puede ser redondeada o angular.

Su diámetro efectivo (D10) debe estar entre 0.25 y 0.35 mm.

Su coeficiente de uniformidad o sea la relación D60/D10, debe estar entre 2.0 y 3.0, de preferencia cercano a 2.0.

El espesor del lecho de arena, debe estar formado por dos estratos, uno inferior fijo con una altura mínima de 0.60 m.

y otro superior cuya altura varía de 0.40 a 0.70 m., y que es el que irá disminuyendo de espesor conforme se vaya limpiando el filtro hasta llegar al estrato fijo.

**b) Grava**

Puede ser de río o triturada y también libre de polvo, arcilla o material orgánico.

Se coloca generalmente en tres capas:

La inferior con un espesor entre 0.15 y 0.20 m., con un diámetro efectivo de al rededor de 20 mm., y con tamaño variable entre 19 y 50 mm. (3/4" a 2");

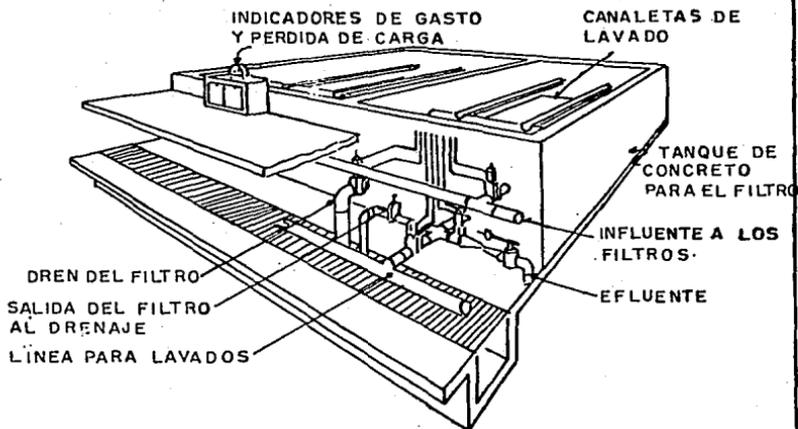
La intermedia con un espesor entre 0.05 y 0.10 m., con un diámetro efectivo de aproximadamente 8 mm., y con tamaño variable entre 9.5 y 19 mm. (3/8" a 3/4");

La superior (sobre la que descansa la arena) de 0.05 a 0.08 m., de espesor, con un diámetro efectivo de 2 a 3 mm., y con variación de tamaño entre 1.6 y 9.5 mm. (1/6" a 3/8").

## FILTROS RAPIDOS

El diseño del filtro rápido o filtro mecánico se desarrolló a principios de este siglo en los E.U.A., con el fin de superar algunas desventajas que tienen los filtros lentos para las particulares condiciones de la mayoría de los países industrializados; estas desventajas son: Alto costo inicial por el área que requieren cada sus bajas tasas de filtración, agua cruda de calidad inadecuada (muchas veces por la contaminación) para el proceso del filtro lento, escasa y costosa mano de obra, alto costo de la protección requerida para evitar en invierno la congelación del agua en los filtros. No obstante, es necesario señalar que estas desventajas normalmente no se tienen en los países en desarrollo, por lo que en nuestro país, en muchos casos, los filtros lentos, pueden ser una buena alternativa para llevar a cabo la potabilización del agua.

Como se dijo, el filtro rápido generalmente se opera con tasas de filtración que varían entre 58.5 y 468 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día y esencialmente consiste (ver figura) en un tanque de concreto de área mucho más pequeña que la de un filtro, y con una altura aproximada de 2.50 a 3.00 m., que tiene en su fondo un sistema de bajo-drenes, de diseño convencional a base de tuberías perforadas o inclusive de diseños patentados, sobre el que se pueden o no instalarse según el sistema de bajo-drenes, varias capas de grava graduada, que cumplen dos funciones básicas: la primera consiste en retener y separar el



FILTRO RAPIDO

lecho de arena durante el ciclo de filtración que se verifica con flujo descendente por gravedad, y la segunda referente a difundir de la manera más uniforme posible en el lecho de arena, el agua para el lavado del mismo.

Sobre esta grava se coloca el medio filtrante de arena.

Las especificaciones de ambos materiales granulares que en el filtro rápido convencional se instalan en forma estratificada con los tamaños más gruesos abajo y los más pequeños arriba.

Además de lo anterior, el filtro rápido requiere de una serie de dispositivos mecánicos o hidráulicos para su control y para llevar a cabo la limpieza del mismo, con la frecuencia que le demandan sus cortos ciclos de filtración, que generalmente varían entre 24 y 48 horas.

A diferencia del filtro lento, el filtro rápido actúa casi únicamente como un cedazo para efectuar la retención de la materia suspendida por el efecto del simple colado mecánico del agua a su paso por el medio filtrante, e sea que no se forma en él la capa biológica, que es necesaria en el filtro lento. Por consiguiente, para lograr una buena eficiencia de filtración en un filtro rápido, se requiere que el agua que se filtre en él, sea previamente coagulada y sedimentada, o sea que se le agreguen antes los productos químicos convenientes, para facilitar aglomeración del material por remover en flóculos o coágulos y que los más gruesos y

peanos sean brevemente separados de ella mediante su asentamiento por gravedad, de manera que en el filtro se remueven sólo mecánicamente los floculos más pequeños.

La operación del filtro rápido puede ser manual, semi-automática o automática (aunque la primera forma, raramente se usa) y consiste resumidamente en lo siguiente:

Sobre el lecho de arena se mantiene un tirante constante de agua que varía aproximadamente entre 0.90 y 1.35 m., que al pasar por el medio filtrante y debido a las altas tasas de filtración, llega a introducir en casi toda la profundidad del lecho el material suspendido por remover.

La salida del filtro generalmente se regula en forma mecánica y automática con el objeto de tener un gaste efluente más o menos constante. Al avanzar el ciclo de filtración va aumentando la pérdida de carga en el filtro hasta llegar al máximo valor permisible; cuando esto sucede se cierra la entrada de agua al filtro y por el sistema de bajo-drenes se inyecta agua limpia a presión de manera de expandir en forma ascendente el lecho de arena con el fin de lograr su lavado por el empuje de agua a presión y la violenta agitación que se le imparte a los granos que forman el lecho. El agua de lavado, arrastra hacia el drenaje el material retenido en el medio filtrante. Terminado el retrolavado, se cierra la entrada de agua a presión por los bajo-drenes y se reinicia un nuevo ciclo de filtración.

## RECOMENDACIONES DE DISEÑO DEL MEDIO FILTRANTE

El medio filtrante de estos filtros, está formado por el lecho de arena y por las capas de grava graduada que le sirven de retención y soporte, y para distribuir el agua del lavado.

Algunos sistemas patentados de bajo-drenes, están diseñados de manera que no se requieren las capas de grava, sino que el lecho de arena descansa directamente sobre dichos sistemas. Las especificaciones más usuales para estos materiales son:

### a) Arena:

Debe estar constituida por granos densos, duros y durables, preferentemente de material silíceo que pueda resistir el desgaste durante su instalación y su uso en el filtro, así como estar libre de arcilla, polvo u otros materiales extraños.

Su forma puede ser redondeada o angular.

Su diámetro efectivo, debe seleccionarse en base a las características del agua cruda por tratar y del acondicionamiento que ésta reciba antes del filtrado; en general varía de la siguiente manera:

De 0.38 a 0.44 mm. (arena fina), para una mejor remoci-

ón de la turbiedad y de los microorganismos, aunque el acondicionamiento y el control no sean muy eficientes.

De 0.43 a 0.55 m. (arena media), es el tamaño más utilizado para condiciones normales de operación.

De 0.55 a 0.65 mm. (arena gruesa), permite ciclos largos de filtración, pero requiere un eficiente acondicionamiento previo del agua y un cuidadoso control.

Su coeficiente de uniformidad variará entre 1.3 y 1.7, de preferencia menor de 1.6.

El espesor del lecho de arena generalmente varía entre 0.60 y 1.00 m, de preferencia al rededor de 0.75 m.

#### b) Gravas:

Debe estar constituida por granos duros, densos y durables, que resistan al desgaste durante su colocación y su utilización en el filtro, así como estar libre de polvo, arcilla u otros materiales extraños.

No será mayor del 5% para tamaños menores de la malla núm. 8 U.S. Standar (2.36 mm.);

No será mayor del 17.5% para tamaños mayores de la malla núm. 8, pero menores de 25.4 mm. (1");

No será mayor del 25% para tamaños de 25.4 mm. (1") o mayores.

La forma de sus granos puede ser redondeada o angular, preferentemente la primera. Si es angular, debe ser lo más equidimensional posible, de manera que no más del 2% en peso sean planos o alargados, en tal forma que el eje mayor de un prisma rectangular que los circunscribe, sea mayor de 5 veces el eje más corto.

El espesor de los estratos de grava, cuando el filtro cuenta con un sistema convencional de bajo-drenes, se ajustará a las siguientes recomendaciones de abajo hacia arriba:

Estrato	Espesor ( cm )	Tamaño (de la talla cuadrada)
I	Suficiente para quedar como mínimo 10 cm. - - - arriba de la parte más alta del bajo-dren.	19 a 38 mm. (3/4" a 1 1/2")
2	7.5	12.7 a 19 mm. (1/2" a 3/4 )
3	7.5	6.3 a 12.7 mm. (1/4" a 1/2")
4	10.0	3.1 a 6.3 mm. (1/8" a 1/4")
5	10.0	1.6 a 3.1 mm. (1/16" a 1/8")

## FILTROS A PRESION

Este tipo de filtro, es semejante a los filtros rápidos de gravedad, con la diferencia de que están confinados en un recipiente cerrado, que normalmente consiste en un tanque cilíndrico de metal, a través del cual se hace pasar a presión el agua por filtrar. El tanque cilíndrico, puede ser de eje vertical u horizontal. Estos filtros generalmente son de patente.

La colección del bajo-oren, de las capas de grava (que pueden o no tenerse como en el caso del filtro rápido) y del lecho de arena, es la misma del filtro rápido con la única excepción de que el espesor del lecho normalmente varía entre 0.45 m., a 0.60 m. Así mismo, el lavado del filtro se realiza haciendo pasar agua a presión en sentido ascendente a fin de que expanda el lecho y arrastre los materiales retenidos.

En la mayor parte de los casos, el acondicionamiento previo del agua por filtrar, se logra haciendo pasar una parte del gasto influente por pequeños tanques, también a presión, que contienen en forma sólida los productos químicos por aplicar. Otra manera de hacer esto, es tener en tanques separados las soluciones de los químicos necesarios e inyectarles en la tubería del influente del filtro.

La principal desventaja de estos filtros, se debe a que el operador no puede observar el trabajo del filtro y

por tanto, es posible que se presenten diversos problemas en el lecho sin que aquel se dé cuenta, reduciéndose bastante en muchos casos la eficiencia de la filtración.

Las especificaciones, tanto del lecho de arena, como de las capas de grava, son las mismas que las del filtro rápido, así como las velocidades de filtración y las del retrolavado.

## JUSTIFICACION DE LA AMPLIACION

Al tomar la decisión de ampliar la planta de tratamiento de aguas negras del Cerro de la Estrella, se considera la conveniencia de tratar un cierto volumen de agua para usos industriales, adicionalmente a la que se tiene comprometida para el riego de la zona de Chalco.

En tales condiciones se precisó investigar sobre los posibles usuarios de ese caudal.

De acuerdo a esto, se plantea como objetivo de estudio, determinar la demanda esperada del agua tratada, sus posibles usos y las variaciones en la demanda, así como la evaluación de la actitud de los interesados hacia esta innovación.

La evaluación realizada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGC OH) del Departamento del Distrito Federal, reportó un consumo de agua potable de 110.45 L ts/seg., en 112 industrias de 186 que fueron encuestadas. Por tanto las perspectivas de crecimiento en relación al empleo de Aguas residuales en la industria, de acuerdo al porcentaje de intercambio de agua potable por agua residual, es de 87.92%. Se espera una demanda de agua residual de aproximadamente 97.12 L/seg.

Los usos que se dará al agua tratada son:

Generación de vapor	14.8%
Procesos	50.8%
Enfriamiento	3.4%
Servicios y otros	30.9%

Cabe notar que el 27% de las industrias que está en disposición de hacer uso de este recurso, se cuenta con tratamiento al agua de abastecimiento.

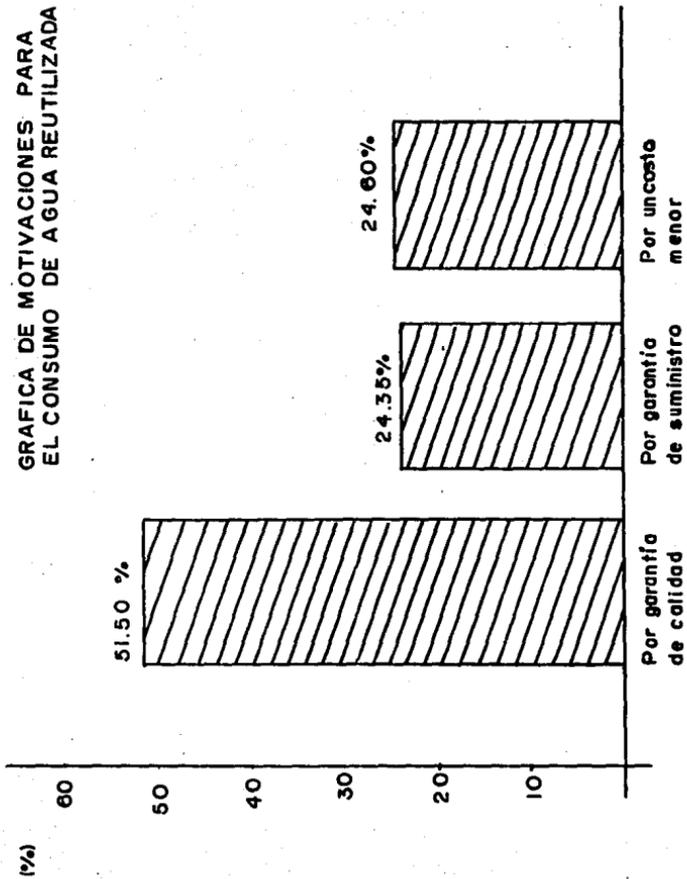
Posición de las industrias en relación al proyecto de distribución y reuso.

Por garantía de calidad	51.50%
Por garantía de suministro	24.35%
Por un costo menor	24.60%

La Planta de tratamiento Cerro de la Estrella, se diseñó para una capacidad instalada de 5 000 L.P.S., en tres etapas; actualmente tiene una producción de 253 L.P.S., y se prevé un aumento, determinándose un gasto de 1 728 L.P.S.

Actualmente la planta abastece los canales de Xochimilco e Ignacio Zaragoza, para esto en el cárcamo de bombeo se cuenta con tres bombas de 300 HP, para los canales de Xochimilco y dos bombas de 150 HP, para la Calzada de Ignacio Zaragoza.

**GRAFICA DE MOTIVACIONES PARA  
EL CONSUMO DE AGUA REUTILIZADA**



La demanda de agua tratada a considerar, es solamente para las industrias, áreas verdes y camellones localizados dentro de la Delegación Iztapalapa, con una demanda de 24 y 8 horas respectivamente.

De los estudios de demanda proporcionados por la DGCCH se obtuvieron los siguientes gastos:

	Gasto Máximo Diario (L.P.S.)	Gasto Máximo Horario (L.P.S.)
- Zonas Industriales	109.58	166.20
- Zonas verdes	150.81	377.03
Totales	260.39	543.23

Para la determinación de la Oferta-Demanda, se consideraron ll zonas industriales, de las cuales se determinó un gasto medio diario de 91.32 L.P.S., y para áreas verdes se hizo una revisión del consumo unitario de riego, con respecto a datos de un estudio previo para la determinación de la evapotranspiración (E<sub>0</sub>), dando como resultado un gasto medio diario igual a 125.69 L.P.S.

De lo expuesto anteriormente, se procedió al cálculo de las bombas y la línea de conducción que elevarán y entregarán al filtro rápido un gasto máximo diario igual a 260.39 L.P.S. y una carga normal de operación de 59.153 m., así como una carga anual de bombeo de 20 horas día. Determinándose un diámetro económico de 457mm (18") $\phi$  y tuberías de asbesto-cemento clase A - 7 A - 10 y A - 14, para la línea de conducción por bombeo.

El diseño del filtro rápido de material graduado, está en función del gasto medio diario 217.01 L.P.S., y el gasto máximo horario 543.23 L.P.S., además una velocidad de filtración igual a  $2.31 \text{ LPS/m}^2$ , de lo cual resulta una sección de 750 cm x 1 500 cm.

Como se puede ver, la oferta extraída de la planta de tratamiento descarga en el filtro rápido, el cual a su vez hace llegar bajo su sistema de trabajo el gasto máximo diario a dos tanques de regularización con una capacidad de  $12\ 571.37 \text{ m}^3$ , de los cuales corresponden  $6\ 515.08 \text{ m}^3$  para áreas verdes y  $6\ 056.29 \text{ m}^3$  para las zonas industriales.

Como se observa, el consumo de agua tratada es mayor para el riego de áreas verdes, que el consumo en industrias y al compararse las características de la oferta y la demanda de agua, se aprecia que la demanda es variable, pues interviene el riego para áreas verdes, cuyo gasto depende del horario de riego establecido que es de 3 horas y para las industrias de 24 horas.

En cambio la oferta solamente depende de la capacidad de operación de la planta de tratamiento, por lo que para el efecto de que la variación en la demanda no resulte desproporcionado con respecto a la oferta, se requiere la regularización del caudal.

Tomandose en cuenta que el horario de riego establecido

para la determinación de la demanda de agua para áreas verdes e industriales, es de 8 y 24 horas respectivamente; el gasto máximo del sistema se reducirá usando dos tanques de regularización, lo cual también permitirá operar las bombas localizadas en la planta, para la conducción del agua durante 20 horas del día.

## CAPITULO V

### DISEÑO Y RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO UTILIZADO.

Debido a que las aguas residuales municipales crudas son putrescibles y obstruyen con rapidez a los filtros, no son susceptibles de ser tratadas en las plantas convencionales de filtración lenta o rápida. Sin embargo existen como este caso efluentes que proceden de plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas o químicas que se pueden filtrar con el mismo éxito que las aguas crudas fuertemente contaminadas. La filtración por arena se convierte entonces en una operación terciaria de tratamiento de aguas residuales.

Debido a la cantidad de agua por tratar y a las limitaciones de espacio se optó por un filtro rápido ; estos filtros siguen el patrón de filtros rápidos para agua blanca, pero contienen generalmente granos más gruesos y operan a velocidades inferiores.

**CARACTERISTICAS GENERALES**

<b>GASTO DE DISEÑO</b>	<b>260.39 L.P.S.</b>
<b>AREA DEL LECHO FILTRANTE</b>	<b>112.50 M<sup>2</sup></b>
<b>VELOCIDAD DE FILTRACION</b>	<b>2.31 L.P.S./M<sup>2</sup></b>
<b>TAMAÑO DE LA ARENA</b>	
<b>DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE GRANOS EN LA ARENA DEL FILTRO</b>	<b>ESTRATIFICADO, CON LOS GRANOS MAS PEQUEÑOS O DE POCO PESO EN LA PARTE SUPERIOR, LOS MAS GRUESOS O MAS PESADOS EN EL FONDO.</b>
<b>SISTEMA DE DRENAJES INFERIORES</b>	<b>TUBOS LATERALES PERFORADOS DESCARGANDO A LOS TUBOS PRINCIPALES.</b>
<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>30.48 CM INICIAL A 2.44 M FINAL.</b>
<b>DURACION DEL CICLO ENTRE LIMPIEZAS</b>	<b>20 HRS.</b>
<b>PENETRACION DE LA MATERIA SUSPENDIDA</b>	<b>PROFUNDA, 750 M<sup>3</sup> PARA LIMPIAR LA ARENA MINIMO.</b>
<b>METODO DE LIMPIEZA</b>	<b>DISLOCAMIENTO Y REMOCION DE LA MATERIA ORGANICA MEDIANTE FLUJO ASCENDENTE O RETROLAVADO.</b>

**DESARROLLO DEL SITIO Y ARREGLO DE CONJUNTO.**

Tomando en cuenta las necesidades de capacidad de regularización ( $12\ 571.37\ m^3$ ), ubicación optica del filtro rápido y el área del terreno disponible, se vio la necesidad de proyectar dos tanques de regularización que capten las aguas que salen del filtro y regularicen las mismas para las necesidades de la red de distribución de aguas renovadas "CERRO DE LA ESTRELLA". Ya que el terreno que se localiza en el interior del Panteón Civil, cuenta con un área de  $3\ 100\ m^2$  en forma irregular y con pendiente hacia el Este (lado largo)

Tratando de aprovechar al máximo el terreno disponible del Panteón Civil, se proyecta la utilización de éste para la ubicación del filtro rápido (COTA DESPLANTE 2 301.00 m) y la de un tanque de regularización con capacidad de  $6\ 100\ m^3$  (COTA DESPUNTE 2 292.614 m).

Estas cotas se obtuvieron efectuando el cálculo hidráulico a través de los tramos de los 7 circuitos cerrados y una línea abierta (sobre Calzada Ermita-Iztapalapa) encontrándose una carga máxima disponible de 53.867 mts., y mínima de 31.46 mts., de ahí que se buscaran las elevaciones correspondientes a dicha carga, encontrándose las anteriores (estos datos fueron proporcionados por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGOOH).)

Diámetro económico de la línea de conducción.

La conducción se hizo de la planta Cerro de la Estrella al filtro de material graduado.

Para el cálculo se usaron las tablas tipo V.C. 1921, de la referencia nueve (9), con el fin de encontrar el diámetro más económico en líneas de conducción.

El cálculo hidráulico se basa en la fórmula

$$H_f = K L Q^2 \quad \text{donde :}$$

$H_f$  = Pérdidas por fricción en mts.

$$K = \frac{10.30 n^2}{D^{16/3}}$$

$L$  = Longitud de conducción en mts.

$Q$  = Gasto en  $m^3/\text{seg.}$

$n$  = Coeficiente de rugosidad

$D$  = Diámetro del tubo en mts.

Se determino el costo total de operación anual para varias alternativas de diámetros, de 356 mm. ( 14"), 406 mm. ( 16"), 457 mm. ( 18"), y 508 mm. ( 20") resultando el más económico el de:

457 mm. ( 18") de diámetro.

Los cálculos se encuentran en las páginas siguientes.





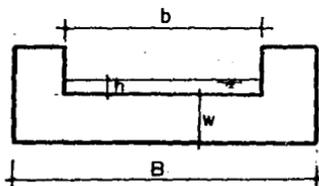
**FILTRO RAPIDO**  
**SISTEMA FUNCIONAL**

En el filtro rápido, la parte que corresponde a las fontanerías serán en su mayoría de acero teniendo también de fierro fundido y de fierro galvanizado.

La línea de conducción es de tubería de asbesto - cemento de diferentes clases, llegando al sistema de fontanerías del filtro rápido, pasando a tubería de acero el agua; el agua llega a una bifurcación la cual a parte de alimentar al filtro se sirve también para el retrolavado.

El agua pasa por la válvula y llega a unos canales los cuales distribuyen el agua por el filtro. El agua subirá de nivel vertiéndose sobre el material graduado.

A continuación se analiza un vertedor del canal para el gasto que pueda pasar por él.



Se propone

$h = 0.10$  m.

DATOS

$b = 4.00$  m.

$w = 0.50$  m.

$B = 6.00$  m.

FORMULA:

$$Q = 2/3 \sqrt{2g} M b h^{3/2}$$

Donde según Hamilton-Smith con los límites de aplicación.

Nos dá para la formula para M.

$$M = 0.616 \left(1 - \frac{b}{10 B}\right)$$

$$M = 0.616 \left(1 - \frac{4.0}{10 (6)}\right) = 0.5749$$

Sustituyendo:

$$Q = 2/3 \sqrt{2 (9.81)} (0.5749) (4.0) (0.10)^{1.5} = 0.214 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Analizando con la relación:

$e/h < 0.63$  Funcionamiento pared delgada

$e/h > 0.63$  Funcionamiento pared gruesa

Donde  $e$  = Espesor de pared = 0.30 m.

$$e/h = 0.30/0.10 = 3 > 0.63$$

Ya que se tiene un funcionamiento de pared gruesa, según Basen la formula anterior para el gasto debe ser afectada por E,

$$Q = E, 2/3 \sqrt{2g} M b h^{2/3} \quad \text{donde:}$$

$$E_s = 0.7 + \frac{0.185}{e/h} \quad \text{válida con un valor hasta de:}$$

$$e/h = 3$$

$$k_s = 0.7 + \frac{0.185}{3} = 0.7617$$

Por lo tanto.

$$Q_s = 0.214 \times 0.7617 = 0.163 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

En conclusión podemos observar que cada vertedor con un tirante  $h$  de 0.10 m. pasaría por él un gasto de 163 litros por segundo, teniendo en el filtro 4 vertedores y un gasto máximo diario de 264 L.P.S., por lo tanto los vertedores propuestos son aceptables.

El agua caerá sobre el material de grava y arena con dimensiones de el material y alturas especificadas.

El agua filtrada entra a los tubos perforados de fierro galvanizado los cuales la conducen hacia las salidas, donde se deja una preparación para la construcción de un tanque de igual capacidad al proyectado y una alimentación para el tanque de proyecto, en los cuales la línea de conducción será por gravedad (válvulas III y IV).

Para la operación de retrolavado se abre la válvula II, que en el sistema de filtrado permanece cerrada.

Se cierran las válvulas I, IV y V para el agua por la bifurcación y la válvula II, llegando a la tubería principal, obstruida salida al tanque, el agua sale por las perforaciones de la tubería lateral o secundaria, haciendo subir el nivel del agua, lavando el material graduado; esta llega a los canales de lavado, dirigiéndose a la salida que va al drenaje.

En estas operaciones se considera la válvula III cerrada, puesto que su alimentación es posterior, cuando el tanque a futuro esté construido; esta válvula trabajará igual que la válvula número IV.

Se recomienda lavar el filtro, cuando en forma normal de operación alcance el nivel de los canales de drenaje ó cuando se note la presencia de floculo en el agua filtrada.

La operación de retrolavado deberá durar al rededor de media hora recomendandose calibrar esta operación una vez tendido el filtro.

Para la determinación del diámetro, el número y la separación de orificios en el tubo de fierro galvanizado de 102 mm (4") de diámetro; se siguieron las recomendaciones de Ernest W. Steel, en su libro "Abastecimiento de Agua y Alcantarillado" que nos dice: La superficie total de orificios debe ser del 0.2 al 0.33% de la superficie del filtro.

Donde tenemos un area de:  $7.50 \times 15.0 = 112.50 \text{ m}^2$

$$\text{EL } 0.33\% = 0.3713 \text{ m}^2 \quad (1)$$

$$0.20\% = 0.2250 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Efectuando una tabulación con los dos porcentajes, con un diámetro de orificios de  $1/2$  (12.7 mm.). Estos tienen un area de  $0.000126677 \text{ m}^2$

Dividiendo:

CASO (1)

$$\frac{0.3713 \text{ m}^2}{0.000126677 \text{ m}^2} = 2931 \text{ orificios}$$

CASO (2)

$$\frac{0.2250 \text{ m}^2}{0.000126677 \text{ m}^2} = 1776 \text{ orificios}$$

Tenemos una longitud captadora de 104 m.

Suponiendo que tenemos 2 orificios.

$$\frac{2931}{2} = 1466 : \cdot \frac{104 \text{ m}}{1466} = \phi 7 \text{ cm.}$$

$$\frac{1776}{2} = 888 : \cdot \frac{104 \text{ m}}{888} = \phi 12 \text{ cm.}$$

Donde tendríamos orificios de  $1/2$ " (12.7 mm.) a cada 10 cm. de separación dobles.

En conclusión para no ponerlos dobles quedaría:  
Orificios de  $1/2"$  (12.7 mm) a cada 5 cm. alternados.

Se instalará un total de cuatro valvulas de seccionamiento con vastago fino con las siguientes características:

- 2 valvulas de 457 mm. (18") de diámetro
- 2 valvulas de 356 mm. (14") de diámetro

Instaladas 4 de ellas en cajas especiales para su operación con las dimensiones interiores indicadas en planos.

En las tees y codos se instalarán atraques de concreto simple  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  con dimensiones especificadas.

La tubería de acero será de API-5L grado B o similar.

DATOS DE PROYECTO	
Gasto medio diario	217.01 LPS
Gasto Máximo Diario	260.34 LPS
Gasto Máximo Horario	543.23 LPS
Cap. de Regularización	12 571.37 m <sup>3</sup>
Dotación	260.35 LPS

#### Descripción de Diseño.

El número de filtros se determina en base a la forma de operación de los filtros.

Con el gasto a tratar, se determina el área unitaria de filtración y el sistema de bajo drenes seleccionado, se darán las dimensiones del filtro.

Se determinarán los espesores del medio filtrante y de la grava; además se darán los niveles mínimos y máximos de operación en base a la carrera de filtración y experiencias realizadas en los procesos de filtración.

Se calcularán los diámetros necesarios de la fontanería.

En base al retrolavado se determinarán los diámetros para la conducción de agua, las secciones de los canales y la altura sobre el lecho filtrante.

Se calculará la pérdida de carga que sufre el agua en

el proceso de filtración en el medio filtrante.

Carrera del Filtro.

De bibliografía se tiene:

Filtros de arena - de 24 a 72 hrs.

Se tomará como carrera de filtración 48 horas.

Secuencia de operación.

De referencia dos (2), se obtuvieron los siguientes datos promedio para la secuencia de operación.

Retrolavado a contracorriente -----	15 min.
Sedimentación de la cama	
del lecho filtrante - - - - -	2 min.
Enjuage - - - - -	<u>3 min.</u>
	20 min.

Filtración.

Con el objeto de llevar a cabo el proceso de filtración se diseñarán las unidades con las características mencionadas a continuación:

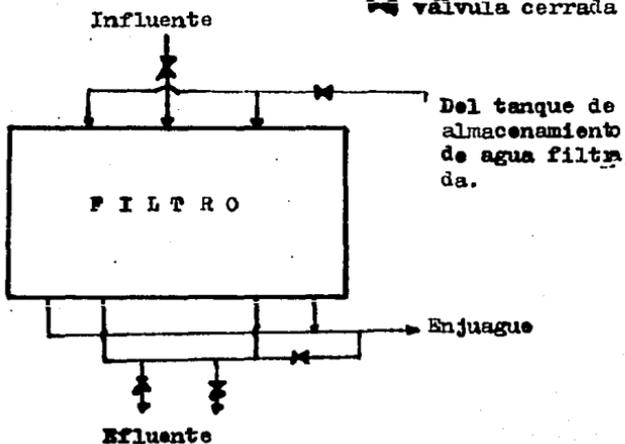
Tipo de filtro:	Rápido
Medio filtrante:	Arena homogénea
Sentido de flujo:	Descendente
Carga	Gravedad
Sistema de operación:	Velocidad declinante con vertedor de control

Filtrando.

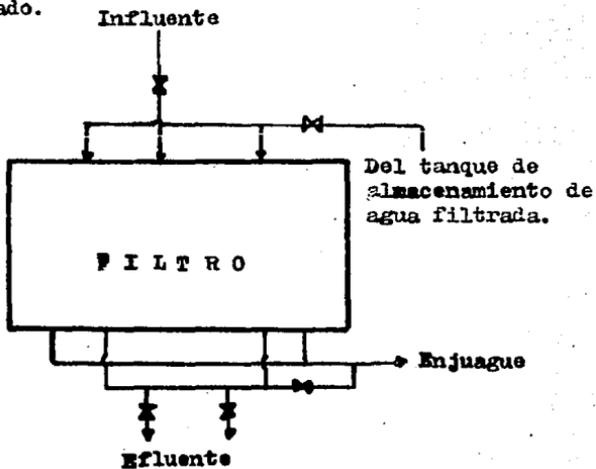
Sombologia

☞ válvula abierta

☒ válvula cerrada



Retrolavado.



Las características, se seleccionaron en base a estudios de filtración europea.

Por lo anterior el filtro en forma general, será filtro monocapa de gran altura de agua, de arena homogénea y grava sílica.

Cálculo:

El número de unidades se limitará a una sola, dado que existirán 2 unidades que regularán el caudal, en tanto que, cuando sea necesario darle limpieza, no se interrumpa la distribución del agua filtrada.

Area de Filtración.

Dado que se seleccionó filtro rápido, su rata ó carga superficial de filtración, varía de 58.5 a 468  $m^3/m^2/día$ ; se usará 200  $m^3/m^2/día$  (2.315 LPS/ $m^2$ )

$$Q = VA \quad \therefore \quad A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{260.39 \text{ LPS}}{2.31 \text{ LPS}/m^2} = 112.50 \text{ m}^2$$

Area = Largo X ancho

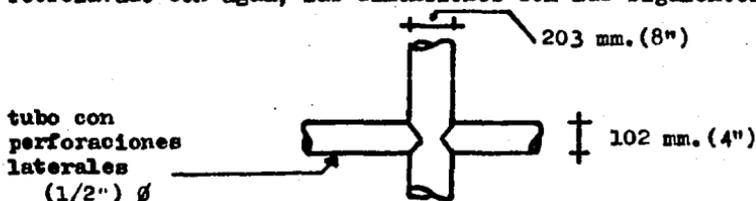
Si se toma un largo de 15 mts.

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Area}}{\text{largo}} = \frac{112.50 \text{ mts}^2}{15 \text{ m}} = 7.5 \text{ mts.}$$

Quedando las dimensiones del filtro de 15 m x 7.5 m.

## Bajo dren.

El sistema de bajo dren, se seleccionó del steel (Abastecimiento de agua y alcantarillado), y consta de tubos laterales perforados, descargando a los tubos principales para retrolavado con agua; las dimensiones son las siguientes:



Profundidad del lecho.

El medio filtrante, será arena homogénea (tomado de recomendaciones de la Sociedad Mexicana de Mec. de suelos) de 0.50 mm., de diámetro efectivo, 1.4 de coeficiente de uniformidad y una altura del lecho de 59.70 cm.

Se colocará además, una capa de grava de 51.14 cm., de espesor como material de soporte y transición entre la arena y los tubos perforados, esto influye para distribuir uniformemente el agua de lavado.

Canal de llegada

De ref. 2 pág. 281

$$Q = 0.65 b y^{2/3}$$

$$y = \left( \frac{Q}{0.65 b} \right)^{2/3} \quad \text{si } b = 1.5$$

$$y = \left( \frac{0.26039 \text{ m}^3/\text{seg.}}{0.65 \times 1.5} \right)^{2/3} = 0.415 \text{ m} = 42 \text{ cm. se tomará un borde libre de 8 cm}$$

### CANALES DE RETROLAVADO

Origen del agua de retrolavado.

La calidad del agua de retrolavado, deberá ser igual o superior al agua efluente de los filtros. Por tanto, se utilizará el agua hubicada en los tanques de regularización, llegando esta al filtro por bombeo.

La velocidad de agua de retrolavado, se tomará para este tipo de filtros de  $5 \text{ LPS/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{Gasto de retrolavado} &= 5 \text{ LPS/m}^2 \times 112.5 \text{ m}^2 \\ &= 562.5 \text{ LPS} \end{aligned}$$

Si el agua es descargada a 4 costados del filtro en canales, estos recibirán un gasto de:

$$q = \frac{562.5 \text{ LPS}}{4} = 140.625 \text{ LPS}$$

De referencia 2 (pág. 281)  $Q = 0.65 b y^{3/2}$

donde Q es la cantidad de agua evacuada por el canal.

b es el ancho del canal

y es la profundidad del agua en el extremo superior del canal.

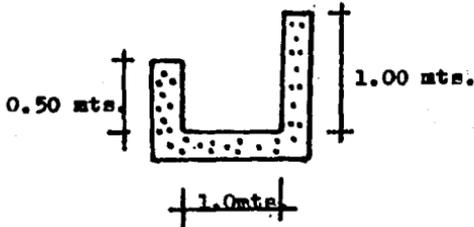
$$\text{Sustituyendo: } y = \left( \frac{Q}{0.65 b} \right)^{2/3}$$

Suponiendo  $b = 1 \text{ m}$

$$y = \left( \frac{0.40625 \text{ m}^3/\text{seg.}}{0.65 \times 1.00 \text{ m}} \right)^{2/3}$$

$$y = 0.360 \text{ m} = 36 \text{ cm.}$$

Tomando un margen de seguridad de 14 cm., el canal tendrá las siguientes dimensiones:



Con una velocidad de 610 Lts/min., que produce una velocidad de ascenso de 60 cm/min., se obtiene una expansión del 30 al 50% (ref. 2)

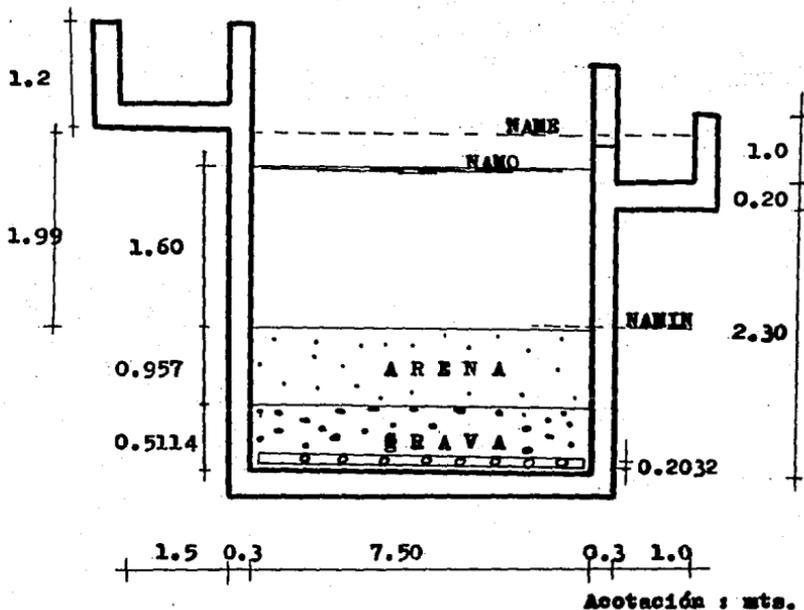
Se tomará un 40% de expansión, siendo la longitud efectiva del lecho de:

$$L_e = (1+E) L = (1+0.40) 59.70 = 83.58 \text{ cm}$$

Tirante de agua sobre el lecho.

Por las características de este filtro, se tomará un tirante sobre el lecho de 160 cm. Con esto se garantiza que no se presenten presiones negativas durante la carrera de filtración.

El arreglo del filtro es el siguiente ;



NAME = Nivel de Aguas Máximo Extraordinario (Retrolavado).

NAMO = Nivel de Aguas Máximo Ordinario (Filtración).

NAMIN = Nivel de Aguas Mínimo.

### Determinación de los diámetros de tuberías

#### Influyente.

De la referencia 1 pág. 260, se recomienda una velocidad de 0.61 a 1.82 m/seg.

$$Q \text{ de entrada} = 260.39 \text{ LPS} = 0.26039 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{con } v = 1.58 \text{ m/seg.}$$

$$Q = VA \quad A = \frac{Q}{v} = \frac{0.26039 \text{ m}^3/\text{seg.}}{1.58} = 0.1648 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.1648)}{\pi}} = 0.458 \text{ m}$$

$$d = 45.8 \text{ cm} = 18''$$

Se usará una válvula de seccionamiento tipo compuerta de vastago fijo de 18''  $\phi$  para la entrada al filtro.

#### Efluente:

De referencia anterior se recomienda una velocidad de: 0.9 a 1.8 m/seg.

$$\text{con } V = 1.4 \text{ m/seg}$$

Como el efluente es evacuado del filtro por medio de dos tuberías, estas conducirán cada una la mitad del gasto de diseño.

$$Q' = \frac{Q}{2} = \frac{0.26039 \text{ m}^3/\text{seg.}}{2} = 0.130195 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q' = 1.4 A \quad A = \frac{Q'}{1.4} = \frac{0.130195 \text{ m}^3/\text{seg.}}{1.4 \text{ m/seg}} = 0.09299 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.344 \text{ m} = 13.54''$$

Se acepta una tubería de 14"  $\phi$  para el efluente.

Retrolavado.

$$Q \text{ de retrolavado} = 0.5625 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se recomiendan las siguientes velocidades (ref. 1 pág. 260)

$$2.44 \text{ a } 3.64 \text{ m/seg.}$$

$$\text{con } V = 3.40 \text{ m/seg.}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.5625 \text{ m}^3/\text{seg.}}{3.4 \text{ m/seg.}} = 0.1654 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.4589 \text{ m.} = 18''$$

Se tendrá una tubería de 18"  $\phi$  para el agua de retrolavado.

Como el agua de retrolavado descarga a dos juegos de bajo drenes, se tendrá una segunda tubería con el siguiente diámetro:

$$\frac{Q}{2} = 0.28125 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.28125 \text{ m}^3/\text{seg.}}{3.4 \text{ m/seg.}} = 0.08272 \text{ m}^2$$

$$d = 0.3245 \text{ m} = 13'' \phi$$

Se tomará una segunda tubería de 14"  $\phi$  dado que se uniformizará el material adquirido.

### Drenaje.

Velocidades recomendables: 1.22 a 2.44 m/seg  
(referencia 1)

Dado que el agua de retrolavado, es descargada a canales de lavado y estos las conducen al drenaje, siendo dos tubos por donde se eliminan; cada uno transportará un gasto de:  $Q/2 = 0.28125 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

con  $V = 2.0 \text{ m/seg}$ .

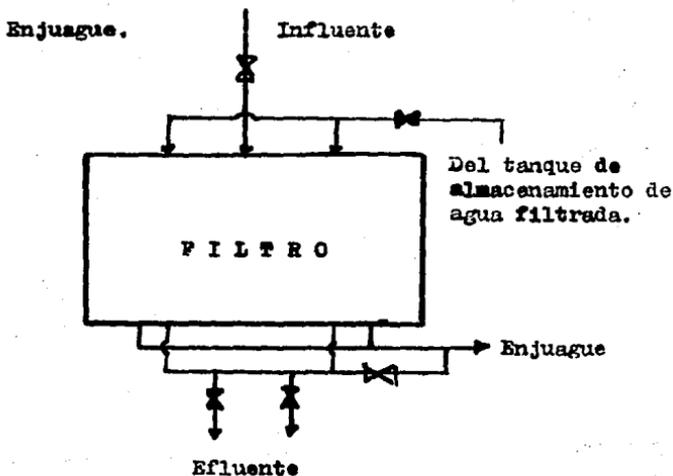
$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.28125}{2} = 0.14 \text{ m}^2$$

$d = 0.4231 \text{ m} = 17''$  para cada tubo

Ambos tubos se unen en uno solo cuyo diámetro es:

$$A = \frac{0.5625}{2} = 0.28125 \text{ m}^2$$

$d = 0.588 \text{ m} = 24'' \varnothing$



Enjuage.

Velocidad máxima permisible 4 m/seg

con  $V = 2.62$  m/seg

$Q = 260.39$  LPS

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.26039 \text{ LPS}}{2.62 \text{ m/seg}} = 0.09938 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.3557 \text{ m} = 14''$$

Se tomará una tubería de 14"  $\phi$  para enjuage.

Sistema de operación.

Cualquiera que sea la velocidad de filtración o medio filtrante que se use, se requiere de un sistema de control para regular la hidráulica del proceso.

En este caso, se tendrá un sistema de operación de velocidad declinante con vertedor de control. Por tanto, se hace necesario determinar el nivel de crestavertedora, la cual se localizará dentro de cada uno de los tanques de regularización y será un controlador de la carga superficial (rata de filtración).

Determinación del nivel de cresta vertedora

Para su determinación, es necesario encontrar las pérdidas de carga, que se manifiestan desde el medio filtrante hasta los tanques de regularización en el proceso de filtrado.

Pérdida de carga en orificios.

$$h_f = 0.041 v^2 / 2g$$

$$\text{Velocidad de filtración} = 0.00231 \text{ m/seg}$$

A esta velocidad se le agrega la velocidad por carga hidráulica, con el fin de tomar la máxima.

$$v = \phi \sqrt{2 g h} \quad \phi = \text{coeficiente, para el agua es igual a } 0.97$$

con  $h = 2.6 \text{ m}$  se tiene

$$v = 0.97 \sqrt{19.62 \text{ m/seg}^2 \times 2.6 \text{ m}} = 6.92 \text{ mts.}$$

$$v = 0.00231 + 6.92 = 6.922 \text{ m/seg.}$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(6.922 \text{ m/seg})^2}{2(9.81 \text{ m/seg}^2)} = 2.44 \text{ m}$$

$$h_f = 0.041 \times 2.44 = 0.100 \text{ m}$$

$$h_f = 10.0 \text{ cm}$$

Para el cálculo de pérdidas en tuberías y conexiones de bajo diámetros, se utilizará el método del tubo equivalente (referencia 14, pág. 217 tabla 16.6)

Este nivel estará a una distancia  $n_f$  abajo del nivel de aguas mínimo ( $83.58 \text{ cm} + 51.14 \text{ cm} = 134.7 = 135 \text{ cm.}$ , del nivel de piso del filtro).

Pérdida de carga en la arena ( $h_a$ )

Espesor del lecho de arena = 0.597 m

Velocidad de retrolavado =  $300 \text{ Lts/min/m}^2 = 0.30 \text{ m}^3/\text{min/m}^2$

De datos tomados de la referencia 1 se tiene:

Peso específico del arena = 2.60

porosidad = 38%

$$h_a = (260 - 1.0) \times (1 - 0.38) \times 0.597$$

$$h_a = 0.592 \text{ m.}$$

Pérdida de carga en la grava ( $h_g$ )

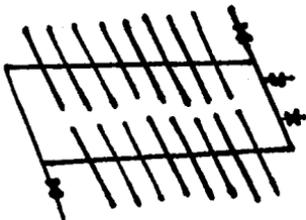
Espesor de la grava = 0.5114 m

De acuerdo a investigaciones para pérdida de carga en grava (ref. 2 pág. 282) se tiene para este lecho de grava.

$$h_g = 3x (61/30) \times (51.14/30) = 10.4 \text{ cm}$$

Pérdida de carga en el sistema de bajo drenes.

Se optó por el siguiente sistema de bajo drenes



Pérdida de carga No.	Longitud equivalente (mts)	Total (mts)
Curvas a 90° 32	1 . 10	35.20
T salida de lado 4 (4" ø)	6.70	26.80
Fricción (4" ø) 32	3.50	112.00
Tec paso directo 14 (8" ø)	4.30	60.20
Fricción (8" ø) 28	0.90	25.20
Fricción (8" ø) 2	0.20	0.40
Longitud equivalente (4" ø) =		174.00
Longitud equivalente (8" ø) =		85.80

De la fórmula de Darcy se obtienen las pérdidas

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Con  $V = 0.231$  cm/seg y  $\phi = 4''$  se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \frac{VD}{\mu} \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \quad \mu = 0.010 \text{ cm}^2/\text{seg} \quad (\text{ref. 13 pág.26})$$

(viscosidad cinemática)

$$Re = \frac{0.231 \text{ cm/seg} \times 10.16 \text{ cm}}{0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 234.696 < 2000$$

∴ el flujo es laminar.

De la ecuación de Poiseville (ref. 13 pág. 279) para flujo laminar, el coeficiente para pérdidas por fricción se obtiene de la siguiente manera.

$$f = \frac{64}{Re}$$

$$f = \frac{64}{234.69} = 0.27269$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{(0.00231)^2}{19.62 \text{ m/seg}} = 2.7197 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$hf = 0.27269 \times \frac{174 \text{ m}}{0.1016 \text{ m}} \times 2.7197 \times 10^{-7} \text{ m} = 1.27 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$hf = 0.0127 \text{ cm}$$

Para un diámetro de 8 "  $\phi$  (0.2032 m)

$$Re = \frac{VD}{\mu} = \frac{0.231 \text{ cm/seg} \times 20.32 \text{ cm}}{0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 469.392 < 2000$$

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{469.392} = 0.13635$$

$$hf = 0.13635 \times \frac{85.8 \text{ m}}{0.2032 \text{ m}} \times 2.71 \times 10^{-7} \text{ m} = 1.566 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$hf = 0.001566 \text{ cm}$$

	orificios	10.0 cm
Pérdidas en bajo dren	tubería 4 " $\phi$	0.0127 cm
	tubería 8 " $\phi$	<u>0.0016</u>
	t o t a l =	10.0143

Pérdida de carga en el efluente

El efluente está formado por una tubería de fo.fo. de 14 "  $\phi$  y 400 cm de longitud y varias piezas especiales.

Gasto extraordinario = 260.39 LPS

$$A = \pi d^2/4 = 3.14 (0.3556)^2/4 = 0.099 \text{ m}^2$$

$$Q = V A \quad V = Q/A = 0.26 \text{ 039 m}^3/\text{seg} / 0.099 \text{ m}^2$$

$$V = 2.63 \text{ m/seg}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(2.63)^2}{19.62} = 0.353 \text{ m}$$

Pérdida por fricción

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Rugosidad relativa:  $E/D$

$E$  para Fo.fo. nuevo = 0.25 mm (ref.13 tabla 8.1 pág 285)

$$\frac{E}{D} = \frac{0.25 \text{ mm}}{255.6 \text{ mm}} = 0.000 \text{ 703}$$

$$Re = \frac{V D}{\nu} = \frac{263 \text{ cm/seg} \times 35.56 \text{ cm}}{0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 935 \text{ 228} > 2 \text{ 000}$$

∴ el flujo es turbulento

Entrando al diagrama de Moody con el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa ( $E/D$ )

se tiene:

$$f = 0.0184$$

Sustituyendo valores.

$$h_f = 0.0184 \times \frac{4.0 \text{ mts}}{0.3556 \text{ m}} \times 0.353 = 0.0731 \text{ m}$$

$$h_f = 7.31 \text{ cm}$$

Pérdidas locales:  $h_f = K V^2/2g$

donde:  $h_f$  = pérdida de energía en metros

$K$  = coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida, No. de Reynolds y de la rugosidad del tubo

$V^2/2g$  = Carga de velocidad, aguas abajo

Por entrada ( de ref 13 pág 304)

Angulo del cono de entrada =  $18^\circ$

Relación  $\frac{d_2}{d_1} = \frac{35.6 \text{ cm}}{20.3 \text{ cm}} = 1.7537 \therefore K = 0.20$

$h_i = 0.20 \times 0.353 \text{ m} = 0.0706 \text{ m}$

$h_i = 7.06 \text{ cm}$

Pérdida por codo

$K = C_c \frac{\theta^\circ}{90}$  con  $\frac{R}{D} = \frac{356 \text{ mm.}}{355.6 \text{ m}} = 1.001$

$E/D = 0.0007$   $C_c = 0.34$   $\therefore K = 0.34$

$h_i = 0.34 \times 0.353 \text{ m} = 0.12 \text{ mts}$

$h_i = 12 \text{ cm}$

Pérdida por tee.  $K = 1.4$

$h_i = 1.4 \times 0.353 \text{ m} = 0.4942 \text{ m}$

$h_i = 49.42 \text{ cm.}$

Pérdida en tubo transversal

$E/D = 0.0007$  y  $Re = 935228$   $f = 0.0184$

con una longitud de 880 cm

$h_k = 0.0184 \times \frac{8.80 \text{ m}}{0.3556 \text{ m}} \times 0.353 = 0.161 \text{ m}$

$h_k = 16.1 \text{ cm}$

Pérdida por válvula de compuerta

$d = 35.56 \text{ cm}$   $k = 0.04$

$h_m = 0.04 \times 0.356 \text{ m} = 0.014$

$h_m = 1.41 \text{ cm}$

**Pérdida en conducción**

Como hay dos conducciones, cada conducción llevará 130.195 LPS.

$$\text{si } \phi = 0.3556 \text{ m} \quad A = 0.099 \text{ m}^2$$

$$Q = VA \quad V = \frac{Q}{A} = \frac{0.130195 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.099 \text{ m}^2} = 1.315 \text{ m/seg}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1.315)^2}{19.62} = 0.08815 \text{ m}$$

$$\frac{E}{D} = 0.0007$$

$$\text{con } T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$Re = \frac{VD}{\mu} = \frac{131.5 \text{ cm/seg} \times 35.56 \text{ cm}}{0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 467614$$

$\therefore$  flujo turbulento

Entrando al diagrama de Moody con Re y E/D

Se tiene  $f = 0.018$

$$hk = 0.018 \times \frac{70 \text{ m}}{0.3556} \times 0.08815 \text{ m} = 0.03123$$

$$hk = 31.23 \text{ cm}$$

Pérdida por codo  $60^\circ$   $k = 0.03$

$$hk = 0.03 \times 0.08815 = 0.0026 = 0.26 \text{ cm}$$

Pérdida por salida  $K = 1$

$$hk = 1 \times 0.08815 \text{ m} = 0.088 \text{ m}$$

$$hk \quad \underline{8.8 \text{ cm}}$$

$$\text{Pérdida de carga total} = 213.18 \text{ cm}$$

Para una mejor operación, se tomará 212 cm  $\therefore hf = 2.12 \text{ m}$  que es la distancia que hay que bajar el nivel de vertido

con respecto al nivel (+135 cm) mínimo de los filtros

#### Sistema de retrolavado:

El lavado del filtro, es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada, con el objeto de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos, en la operación de filtración.

Para este tipo de filtro, se utilizará el sistema de lavado a contracorriente, con una velocidad de  $5 \text{ LPS/m}^2$

Dadas las condiciones del proyecto, el agua provendrá del tanque de regularización y será bombeado desde este sitio.

#### Selección de la bomba:

##### Datos

Velocidad de retrolavado =  $5 \text{ LPS/m}^2 = 0.005 \text{ m/seg}$

Area de filtración.  $112.50 \text{ m}^2$

Gasto de retrolavado =  $112.50 \text{ m}^2 \times 0.005 \text{ m/seg}$   
 $= 0.5625 \text{ m}^3/\text{seg}$

#### Pérdida de carga en el lecho filtrante (arena)

Para arena  $hf = 90\% \times \text{espesor del lecho}$   
 $hf = 0.90 \times 0.597 \text{ m} = 0.5373$   
 $hf = 53.73 \text{ cm}$

Pérdida de carga en la grava

$$hf = \frac{V_a \cdot L}{3}$$

donde:  $V_a$  = Velocidad de retrolavado (m/min.)

$L$  = Altura del lecho (m)

$hf$  = Pérdida de carga en metros

$$V_a = 0.005 \text{ m/seg} \times 60 = 0.3 \text{ m/min}$$

$$hf = \frac{0.3 \times 0.5114}{3} = 0.05114 \text{ m}$$

$$hf = 5.11 \text{ cm.}$$

Pérdida de carga en los bajo drenes.

Por el método de longitud equivalente, se tiene:

$$\text{Long. } \phi 4'' : 174 \text{ m} \quad \text{con } f = \frac{64}{Re}$$

$$\text{Long. } \phi 8'' : 85.8 \text{ m}$$

$$\text{Con } V = 0.005 \text{ m/seg y } \theta = 4'' \text{ se tiene } f = 0.1259$$

$$\text{Con } V = 0.005 \text{ m/seg y } \theta = 8'' \text{ se tiene } f = 0.06299$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(0.005 \text{ m/seg})^2}{19.62 \text{ m/seg}^2} = 1.2742 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\text{Con } hf = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2}$$

$$\text{Para } \phi = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

$$hf = 0.1259 \frac{(174 \text{ m})}{0.1016 \text{ m}} (1.2742 \times 10^{-6} \text{ m}) = 2.747 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$hf = 0.02747 \text{ cm}$$

$$\text{Para } \phi = 8'' = 0.2032 \text{ m}$$

$$hf = 0.06299 \frac{(85.8 \text{ m})}{0.2032 \text{ m}} (1.2742 \times 10^{-6} \text{ m}) = 3.389 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$hf = 0.003389 \text{ cm}$$

Pérdida en orificios :  $h_f = 0.041 V^2/2g$

$$V = 0.005 \text{ m/seg}$$

$$V = \phi \sqrt{2g h}$$

$$\text{Con } h = 3 \text{ mts.}$$

$$V = 0.97 \sqrt{19.62 \times 3}$$

$$V = 7.44 \text{ m/seg}$$

$$V_t = 0.005 \text{ m/seg} + 7.44 \text{ m/seg} = 7.445 \text{ m/seg}$$

$$\frac{V^2}{2g} = 2.825 \text{ m}$$

$$h_f = 0.041 \times 2.825 = 0.1158 \text{ m}$$

$$h_f = 11.58 \text{ cm.}$$

Pérdida en bajo drenes:

( $h_f$ )

$$\text{Tubería } \phi 4'' = 0.02747 \text{ cm}$$

$$\text{Tubería } \phi 8'' = 0.003389 \text{ cm}$$

$$\text{Orificios} = \frac{11.58}{11.61} \text{ cm}$$

Pérdida de carga por fricción.

Datos.

Longitud de tubería 149.38 mts.

Material Po.fo. de 18  $\phi$

Gasto de retrolavado = 0.5625 m<sup>3</sup>/seg

Cálculo:

$$\text{Área } \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.1416 \times (0.4572)^2}{4} = 0.16417 \text{ m}^2$$

$$Q = VA \therefore V = \frac{Q}{A} = \frac{0.5625 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.16417 \text{ m}^2} = 3.426 \text{ m/seg}$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(3.426)^2}{19.62} = 0.598 \text{ m}$$

Número de Reynolds.

$$Re = \frac{VD}{\mu} \quad \text{si } T = 20^{\circ}\text{C} \quad \mu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$Re = \frac{142.6 \text{ cm/seg} \times 45.72 \text{ cm}}{0.010 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 1566 \ 367 > 2 \ 000$$

∴ Flujo turbulento.

Rugosidad relativa E/D

E para Fo.fo. nuevo = 0.25 mm ( ref. 13 pág. 285)

$$\frac{E}{D} = \frac{0.25}{203.2} = 0.00 \ 123$$

Del diagrama de Moody con Re y E/D

se tiene  $f = 0.021$

sustituyendo

$$h_v = \frac{0.022 \times 149.38 \text{ m} \times 0.598 \text{ m}}{0.4 \ 572} = 4.298$$

$$h_f = 429.84$$

Pérdida en tubería  $\phi = 14''$

Longitud = 6.20

53.58 cm

$$\text{Area} = \frac{3.14 \cdot (0.03 \ 556 \text{ m})^2}{4} = 0.099 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.28 \ 125 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0993 \text{ m}^2} = 2.832 \text{ m/seg}$$

$$\frac{V_2}{2g} = 0.40 \ 875$$

$$E/D = \frac{0.25 \text{ mm}}{101.6 \text{ mm}} = 2.46 \times 10^{-3}$$

$$Re = \frac{VD}{\mu} = \frac{283.2 \text{ cm/seg} \times 35.56}{0.01 \text{ cm}^2/\text{seg}} = 1 \ 007 \ 175 > 2 \ 000$$

∴ Flujo turbulento

Con Re y E/D  $f = 0.0245$

$$h_v = 0.0245 \times \frac{6.20 \text{ m}}{0.4572 \text{ m}} \times 0.4087 \text{ m} = 0.1358 \text{ m}$$

$$h_v = 13.58 \text{ cm}$$

Pérdidas locales. (ref. 14 pág 211)

Curva de  $90^\circ$   $K = 0.40$

$$h_c = 0.40 \times 0.40875 \text{ m} = 0.1635 \text{ m}$$

$$h_c = 16.35 \text{ cm}$$

Reducción gradual  $K = 0.15$

$$h_v = 0.15 \times 0.598 \text{ m} = 0.0897 \text{ m}$$

$$h_v = 8.97 \text{ cm}$$

$$\text{Reducción brusca } K = \frac{4}{9} \left(1 - \frac{A}{A_2}\right) = 0.44 \left(1 - \frac{0.0324}{0.16417}\right)$$

de 18 "  $\phi$  a 8 "  $\phi$

$$K = 0.3567$$

$$h_v = 0.3567 \times 0.598 \text{ m} = 0.2133 \text{ m}$$

$$h_v = 21.33 \text{ cm}$$

Válvula de compuerta  $K = 0.20$

$$h_v = 0.20 \times 0.598 \text{ m} = 0.1196 \text{ m}$$

$$h_v = 11.96 \text{ cm}$$

Curva de  $90^\circ$   $K = 0.40$

$$h_v = 0.40 \times 0.598 \text{ m} = 0.2392 \text{ m}$$

$$h_v = 23.92 \text{ cm}$$

Válvula de retención  $K_v = 2.5$

$$h_v = 2.50 \times 0.598 \text{ m} = 1.495 \text{ m}$$

$$h_v = 149.5 \quad 67.79$$

Entrada  $K = 0.50$

$$h_v = 0.50 \times 0.598 \text{ m} = 0.299 \text{ m}$$

$$h_v = 29.90 \text{ cm}$$

Válvula de pie  $K = 1.75$

$$h_v = 1.75 \times 0.598 = 1.0465 \text{ m}$$

$$h_v = 104.65$$

$$14.35 \text{ cm}$$

Por salida  $K = 1$

$$h_v = 1 \times 0.598 = 0.598 = 59.8 \text{ cm}$$

Curva de  $6^\circ$   $K = 0.03$

$$h_v = 0.03 \times 0.598 = 0.0179 \text{ m}$$

$$\frac{h_v = 1.794}{942.04}$$

Pérdida de carga total = 9.42 mts.

Se selecciona una bomba centrífuga vertical tipo turbina, entrando con la carga dinámica total y el gasto a bombear. Esta se instalará en el cárcamo de bombeo, aprovechando espacio.

$$Q = 0.5625 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Carga dinámica total = carga estática + hf

Carga estática = Nivel de descarga hasta N. ANE

$$\text{Carga estática} = (+3.10\text{m}) + (-0.05\text{m}) = 3.15 \text{ m}$$

$$h_f = 3.20 \text{ m}$$

$$\text{C.D.T.} = 3.20 + 9.42 \text{ m} = 12.62 \text{ mts.}$$

$$\text{Con los datos } Q = 0.5625 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$H = 12.62 \text{ mts.}$$

Se calcula la potencia del motor

$$\text{Potencia del motor} = \frac{\text{C.D.T.} \times Q}{76}$$

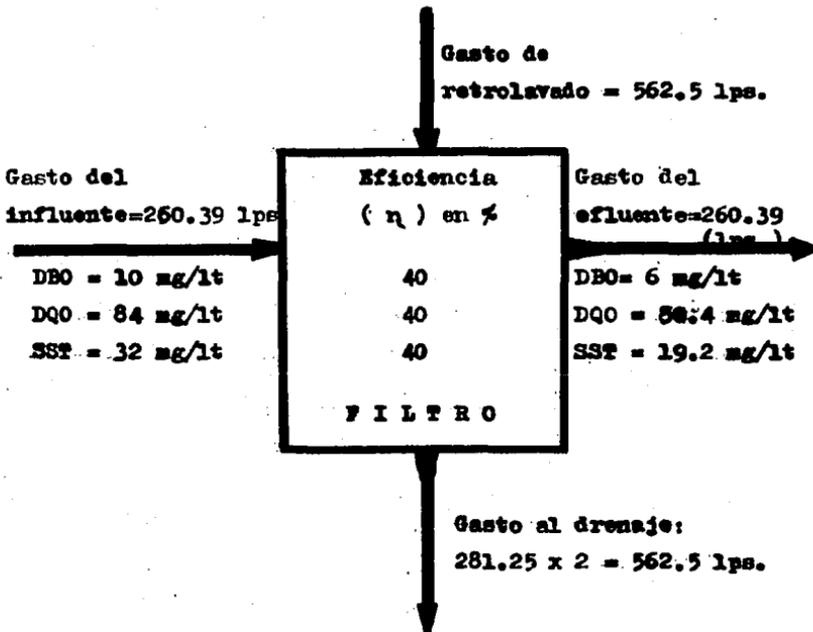
De la referencia 14 , página 285 figura 18.39 , para un caudal de 562.5 lts/seg., se tiene una eficiencia (  $\eta$  ) igual a 72 % ( tomándose el límite inferior) .

$$\text{Pot. del motor} = \frac{12.62 \times 0.5625 \times 1000}{76 \times 0.72} = 129.73 \text{ HP}$$

Se usará una bomba de 130 HP para el retrolavado.

### DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIAL

El siguiente diagrama muestra las eficiencias teóricas de remoción de algunos de los principales contaminantes durante el proceso de filtración. Los datos son empíricos y dependen de la forma de manipular el proceso.



La siguiente tabla muestra la calidad del agua que se prometió en las encuestas aplicadas a las industrias de la zona Iztapalapa de acuerdo con un uso específico

Parametro y/o contaminante	Producción de vapor	Enfriamiento	Riego de areas verdes y lavado de equipo industrial.
D.B.O.	2.50	20	20
S.S.T.	10.0	100	500
Bacterias	2E-05	5E-5	0.03

Nota: Los valores están expresados en mg/lt.

Comparando los contenidos de contaminantes a la salida del filtro con los criterios de calidad de agua reno vada de la tabla, se puede notar que el contenido de solidos suspendidos totales (SST) para la producción de vapor está por encima de lo marcado, pero si se toma en cuenta el tipo de caldera con la que se cuenta (referencia 19) y de acuerdo a la Asociación Norteamericana de Fabricantes de Calde - ras, se puede usar este tipo de agua en calderas que trabaja - jón a presiones de 0 a 1000 psig ,con contenidos de SST que van de 40 a 300 mg/lt..

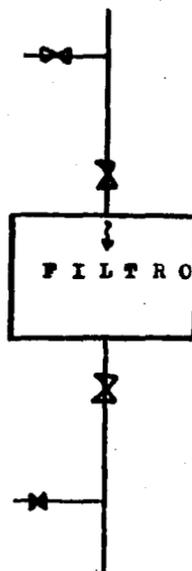
Para comprobar la eficiencia prevista es necesario efectuar analisis continuos de las muestras de agua tratada

La remoción de bacterias se efectua en los dos primeros tratamientos con una cloración y una postcloración con lo que se evita el crecimiento de bacterias y conteni - dos vegetales entre otras cosas, pero si el muestreo a la salida del filtro confirma lo contrario, se procedera a la instalación de una linea de cloración que descargue a los tanques de regularización.

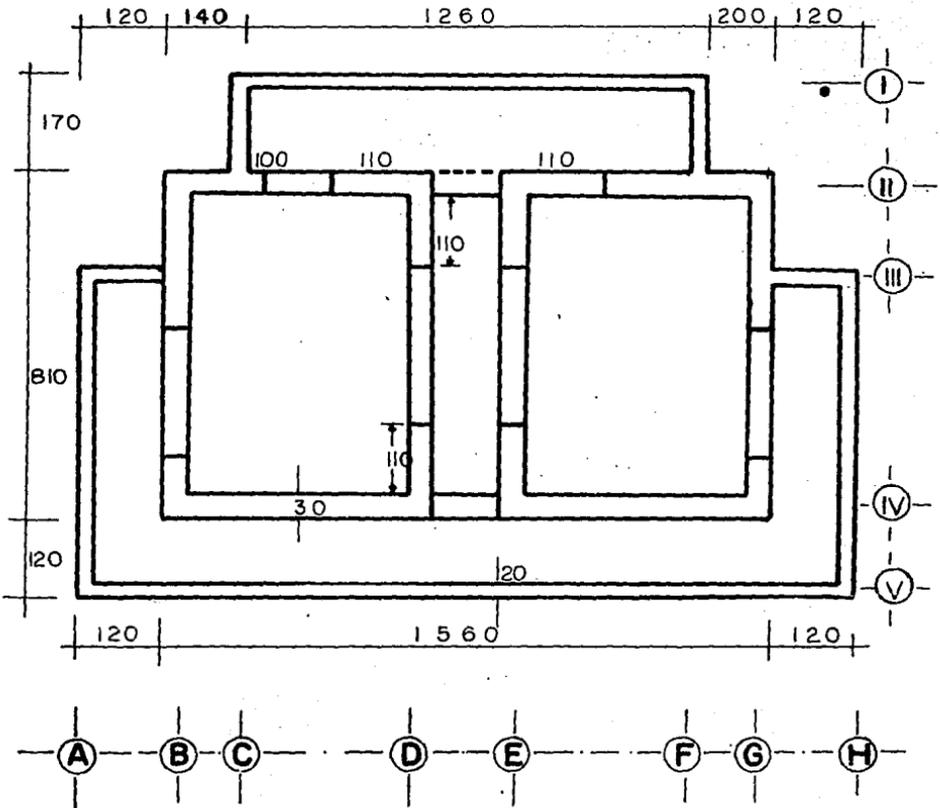
### Puntos de muestreo para operación

Los puntos de muestreo que estarán localizados antes y después del proceso de filtración, contarán con hojas de muestreo y puntos de disparo. Siendo el primero para llevar un control sobre la calidad del agua antes y después de la filtración, y el segundo para la toma de muestras.

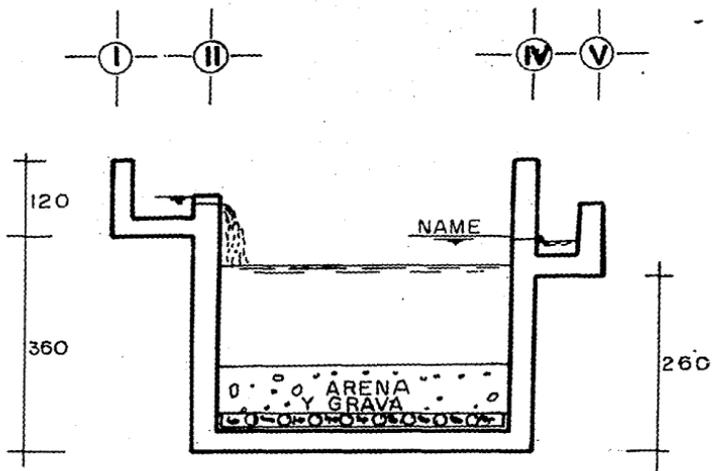
Diario	Semanal	Parametro
X		Turbiedad
	X	Color
	X	D.B.O.
	X	Metales pesados
X		Cloro
<hr/>		
X		Turbiedad
	X	Color
	X	D.B.O.
	X	Metales pesados
X		Cloro



# DISEÑO ESTRUCTURAL



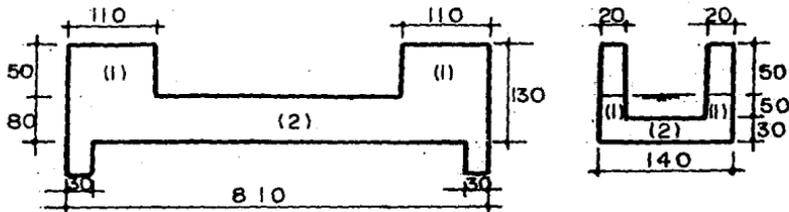
PLANTA



**ELEVACION**

N.A.M.E. : NIVEL DE AGUAS  
MAXIMAS EXTRAORDINARIAS

## DISEÑO DE CANAL EJE D (II - IV)



## CARGAS ACTUANTES

Peso del agua

$$P_a = 0.7 \times 1.0 \times 1.0 = 0.7 \text{ ton./m.}$$

Peso propio del canal

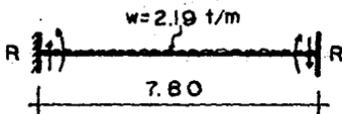
(m) (m) (t/m<sup>3</sup>)

$$P_{c1} = 1.40 \times 0.3 \times 2.4 = 1.01 \text{ ton./m.}$$

$$P_{c2} = (0.2 \times 0.5 \times 2 \times 2.4) = \frac{0.48}{2} \text{ ton./m.}$$

$$z = 2.19$$

## ESQUEMA DE CARGAS



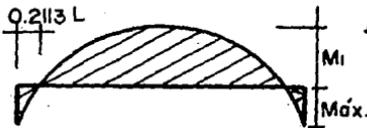
$$R = V = \frac{wL}{2} = \frac{2.19(7.8)}{2} = 8.54 \text{ ton.}$$

$$M(+)=\frac{wL^2}{24} = \frac{2.19(7.8)^2}{24} = 5.56 \text{ ton-m}$$

$$M(-)=\frac{wL^2}{12} = \frac{2.19(7.8)^2}{12} = 11.10 \text{ ton-m.}$$



$$\Delta_{\text{max}} = \frac{wL^4}{384 EI}$$



$$\Delta_{\text{perm}} = \frac{L}{360}$$

## DISEÑO ( TEORIA ELASTICA )

DATOS:

$$F'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fy = 4\,000 \text{ Kg/cm}^2$$

Constantes de diseño

$$K = \frac{1}{1 + \frac{AS}{n Fc}} = \frac{1}{1 + \frac{2\,000}{13.28 \times 112.5}} = 0.43$$

$$J = 1 - K/3 = 1 - \frac{0.43}{3} = 0.86$$

$$n = \frac{ES}{Ec} = \frac{2\,100\,000}{1000 \sqrt{F'c}} = 13.28$$

$$Fc = 0.45 F'c = 0.45(250) = 112.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Q = 1/2 Fc K J = 0.50(112.5)(0.86)(0.43) = 20.80$$

Peralte

$$d = \sqrt{\frac{M}{Qb}} = \sqrt{\frac{1\,110\,000}{20.80(100)}} = 23 \text{ cm.} \approx 25 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm} ; \quad r = 5 \text{ cm} \quad h = 20 \text{ cm}$$

Revisión por cortante

$$V = \frac{V}{bd} \leq Vc$$

$$Vc = 0.25 F'c = 0.25 \cdot 250 = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{8\,540}{25(100)} = 3.41 \text{ Kg/cm}^2 < Vc$$

Acero de refuerzo en el lecho inferior

$$AS = \frac{M}{Fs \cdot jd} = \frac{556\,000}{2000(0.86)(25)} = 12.93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$VS \#6 = \frac{12.92}{2.85} = 5 \text{ varillas} ; \quad \text{separa} = \frac{285}{12.96} = 20 \text{ cm}$$

Acero de refuerzo , lecho superior

$$A_s = \frac{M}{F_y j d} = \frac{1\ 110\ 000}{2\ 000 (0.86)(25)} = 25.81 \text{ cm}^2$$

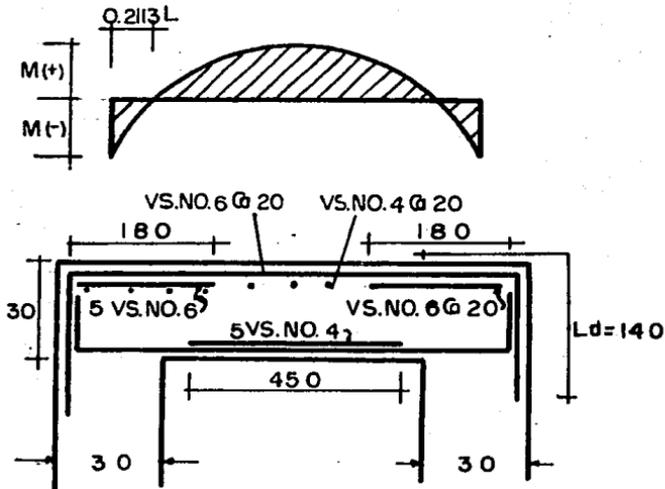
$$\text{Varillas del \# 6} = \frac{25.81}{2.85} = 10 \text{ varillas}$$

$$\text{Separación} = \frac{285}{25.81} = 10 \text{ cm.}$$

Acero por temperatura

$$A_{st} = 0.002 bh = 0.002 (30) (100) = 6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Varillas \#4} = \frac{6}{1.27} = 5 \text{ varillas @ 20 cm.}$$



## Revisión por adherencia

$$M = \frac{V}{2Qjd} = \frac{8540}{(6 \times 5)(0.86)(25)} = 13.24 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_{\text{perm}} = \frac{2.3 \sqrt{F'c}}{D} = \frac{2.3 \sqrt{250}}{1.9} = 19.14 \text{ Kg/cm}^2$$

## Longitud de desarrollo

$$Ld = \frac{D F_s}{2 M} = \frac{1.9 (2000)}{2 (13.24)} = 145 \text{ cm.}$$

$$Ld = 0.006 \frac{F_y A_s}{\sqrt{F'c}} = 1.45 \text{ m}$$

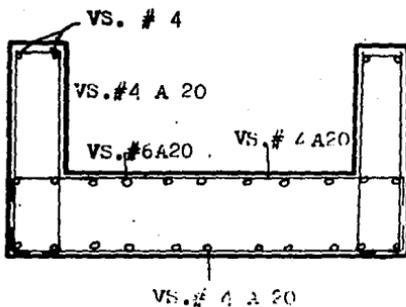
## Revisión por flecha

$$A_{\text{máx}} = \frac{W l^4}{384 E I} = \frac{219 (780)^4}{384 (158114)(315000)} = 0.42 \text{ cm}$$

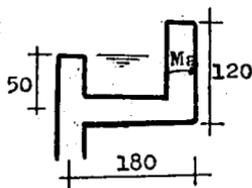
$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{140 (30)^3}{12} = 315000$$

$$A_{\text{perm}} = \frac{L}{360} = \frac{780}{360} = 2.17 \text{ cm}$$

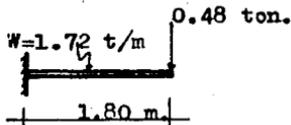
## Armado sección transversal



## DISEÑO DEL CANAL I (C-F)



$$W = 0.90 + 0.82 = 1.72$$



W corregido

$$W = 1.72 + 0.05 + 0.10$$

$$W = 1.87$$

## Cargas actuantes

Peso del agua

$$W_a = 0.6 \times 1.5 \times 1.0 = 0.9 \text{ ton/m}$$

Peso del concreto

$$W_c = 0.2 \times 1.0 \times 2.4 = 0.48 \text{ ton.}$$

$$W_r = 1.7 \times 1.0 \times 2.4 = 0.82 \text{ ton/m}^2$$

Rejilla B-42 = 0.05 ton/m

(Electroforjadas nacionales)

Carga viva = 0.10 ton/m

## Momentos

$$M_A = \frac{W_A}{3} = \frac{0.6(0.6)}{3} = 0.12 \text{ ton-m}$$

$$M = \frac{W_L^2}{2} = \frac{1.87(1.8)^2}{2} = 0.12 \text{ ton-m}$$

$$M = PL = 0.48(1.8) = 0.86 \text{ ton-m}$$

$$M_T = 4.01 \text{ ton-m}$$

## Feralte

$$d = \sqrt{\frac{M}{Qb}} = \sqrt{\frac{401,000}{2080(100)}} = 14 \text{ cm.}$$

$$d = 16 \text{ cm}$$

$$r = 4 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

## Revisión por cortante

$$V_1 = WL = 1.87 \text{ t/m} \times 1.8 \text{ m} = 3.37 \text{ ton}$$

$$V_2 = P =$$

$$0.48 \text{ "}$$

$$V_T = 3.85 \text{ ton.}$$

$$V = \frac{v}{bd} < V_c$$

$$V_c = 0.25 \sqrt{F'c} = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{3850}{15(100)} = 2.41 \text{ Kg/cm}^2 < V_c$$

Acero de refuerzo principal

$$A_s = \frac{M}{F_y j d} = \frac{401\,000}{2\,000(0.87)(16)} = 14.57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Varilla del } \#6 = \frac{14.57}{2.85} = 5 \text{ VB.}; \text{ separación} = \frac{2.85}{14.57} = 20 \text{ cm}$$

Acero por temperatura

$$A_{st} = 0.002 \text{ bd} = 0.002 (20)(170) = 6.8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{VS } \#4 = \frac{6.8}{1.27} = 5 \text{ VS } @ 20 \text{ cm}$$

Esfuerzo por adherencia

$$\bar{M} = \frac{V}{ZQj d} = \frac{3\,850}{5 \times 6(0.87)(15)} = 9.25 \text{ Kg/cm}^2$$

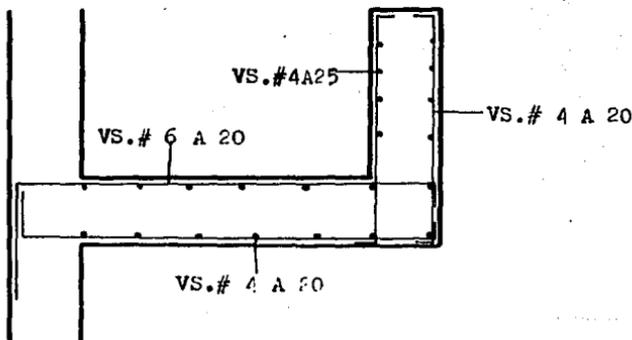
$$M \text{ permisible} = \frac{2.3 \sqrt{F'c}}{D} = \frac{2.3 \sqrt{250}}{1.5} = 19.14 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M \text{ permisible} > \bar{M}$$

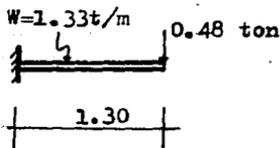
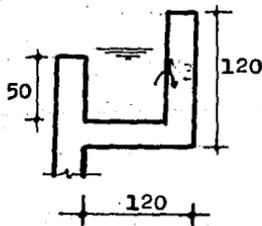
Longitud de anclaje

$$L_d = \frac{D F_S}{4 \bar{M}} = \frac{1.9 (2\,000)}{4 (9.25)} = 103 \text{ cm}$$

$$L_{db} = \frac{0.06 A_s F_y}{\sqrt{F'c}} = 110 \text{ cm}$$



## DISEÑO DEL CANAL EJE V ( G - H )



Cargas actuantes

Peso del agua

$$W_A = 0.6 \times 1.0 \times 1.0 = 0.6 \text{ ton/m}$$

Peso del concreto

$$W_{c1} = 1.20 \times 0.2 \times 2.4 = 0.58 \text{ ton/m}$$

$$W_{c2} = 1.0 \times 0.2 \times 2.4 = 0.48 \text{ ton/m}$$

$$\text{Rejilla B-42} = 0.05 \text{ ton/m}$$

(Electroforjados Nac. S.A)

$$\text{Carga viva} = 0.10 \text{ ton/m}$$

Momentos

$$M_1 = \frac{WL^2}{2} = \frac{1.33(1.3)^2}{2} = 1.13 \text{ ton-m}$$

$$M_2 = PL = 0.48(1.3) = 0.63 \text{ ton-m}$$

$$\frac{W_a}{3} = \frac{0.6(0.6)}{3} = 0.12 \text{ ton-m}$$

$$M_3 = \frac{3}{3} = 1.88 \text{ ton-m}$$

Cortantes

$$V_1 = WL = 1.33(1.3) = 1.73 \text{ ton.}$$

$$V_2 = P = 0.48 = 0.48 \text{ ton.}$$

Peralte

$$d = \sqrt{\frac{M}{Qb}} = \sqrt{\frac{188\ 000}{2\ 080(100)}} = 10 \text{ cm}$$

$$d = 15 \text{ cm}$$

$$r = 5 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

Revisión por cortante

$$V = \frac{v}{bd} < \sqrt{c}$$

$$\sqrt{c} = 0.25 \sqrt{F'c} = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{2\ 210}{(100 \times 15)} = 1.47 \text{ Kg/cm}^2 < \sqrt{c}$$

Acero de refuerzo principal

$$A_s = \frac{M}{f_y d} = \frac{188\,000}{2\,000(0.87)(15)} = 7.29 \text{ cm}^2$$

$$\text{Varillas \#5} = \frac{7.29}{1.98} = 4 \text{ VS a } 25 \text{ cm}$$

Acero por temperatura

$$A_{st} = 0.002 b d = 0.002(20)(100) = 4 \text{ cm}^2$$

VS #4 a 25 cm

Esfuerzo por adherencia

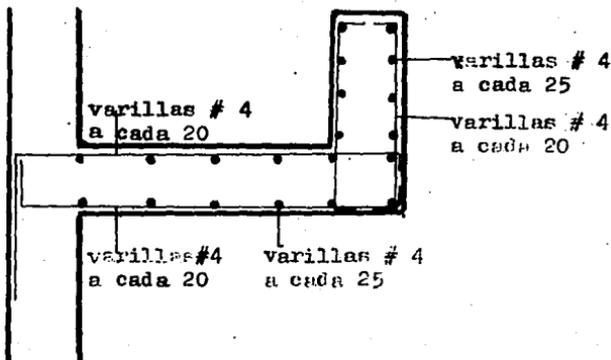
$$M = \frac{V}{2Qj_d} = \frac{2\,210}{(4 \times 6)(0.87)(15)} = 7.14 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M \text{ perm} = \frac{2.3 \sqrt{f'c}}{A} = \frac{2.3 \sqrt{200}}{1.27} = 25.6 \text{ Kg/cm}^2 \quad 7 \text{ M}$$

Longitud de anclaje ( $l_d$ )

$$l_d = \frac{D F_y}{4 M} = 140 \text{ cm}$$

$$l_d = \frac{0.05 A_s F_y}{\sqrt{f'c}} = 110 \text{ cm}$$



Diseño del muro perimetral del filtro  
Empujes del terreno sobre muro eje IV (B-G)

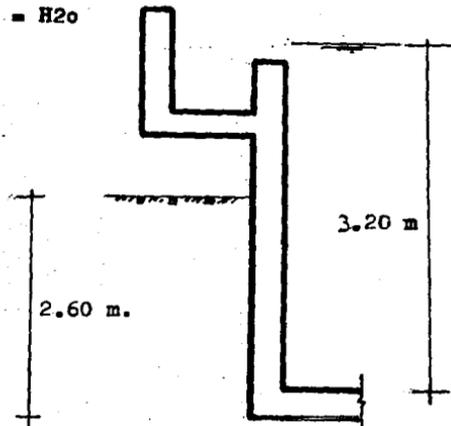
Datos:

Peso específico del terreno =  $1\ 600\ \text{Kg}/\text{cm}^3$

Peso específico del agua =  $1\ 000\ \text{Kg}/\text{cm}^3$

Angulo de fricción interna =  $30^\circ$

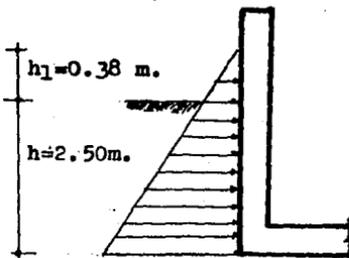
Carga viva =  $H_{20}$



Carga viva

Del manual ARMCO pág. 22; por medio de la gráfica mostrada se obtiene el valor para una carga viva de  $H_{20}$  y un colchon de 2.60 mts., siendo este de  $600\ \text{Kg}/\text{m}^2$

Ahora el empuje horizontal del terreno será:



Altura equivalente

$$h_1 = \frac{W_{cv}}{\gamma_t} = \frac{600}{1\ 600} = 0.38$$

Por rankine se tiene:

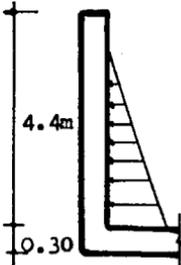
$$P = K \gamma h$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} ; \phi = 30^\circ$$

$$K = \frac{0.5}{1.5} = 0.33$$

$$P = 0.33 (1600)(2.88) = 1536 \text{ Kg/cm}^2$$

Presión hidrostática

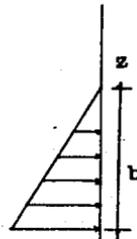
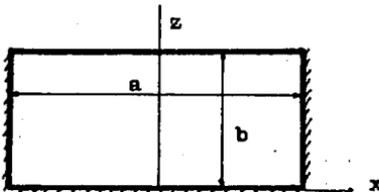


$$P = \gamma h = 1000 \times 3.2 = 3200 \text{ Kg/cm}^2$$

Nota: Se diseñará con la presión hidrostática, que es la mayor.

Para la determinación de los momentos actuantes en el muro, se utilizan las formulas indicadas en el libro "Formulas For Stress and Strain" Roark, pág. 397 y 398

Se tiene para un muro de 3 lados continuos y uno libre



Se tiene:

$$At = X0, \quad Z=0$$

$$\sigma_b = \frac{-B_1 q b^2}{t^2}$$

$$R = 8 q b$$

$$a/b = 15/4.4 = 3.40$$

Para

$$At = x I a/2, \quad Z=b \text{ si } a > b$$

$$\sigma_a = \frac{-B_2 q b^2}{t^2}$$

$$R = 8_2 q b$$

$$; T=30 \text{ cm (Espesor)}$$

Para  $a/b = 3.0$ , se tienen.

$$\frac{a}{b}$$

$$B_1 \quad 0.365$$

$$B_2 \quad 0.101$$

$$B_1 \quad 0.336$$

$$B_2 \quad 0.146$$

$$\sigma_b = \frac{-B_1 q b^2}{t^2} = \frac{-0.365(3.2)(4.4)^2}{(0.3)^2} = 252 \text{ ton/m}^2$$

$$R = 0.101 (3.2)(4.4) = 7.11 \text{ ton}$$

$$\sigma_a = \frac{-B_2 q b^2}{t^2} = \frac{-0.101(3.2)(4.4)^2}{(0.3)^2} = 70 \text{ ton/m}^2$$

$$R = 0.146 (3.2)(4.4) = 2.10 \text{ ton}$$

Obtención de momentos

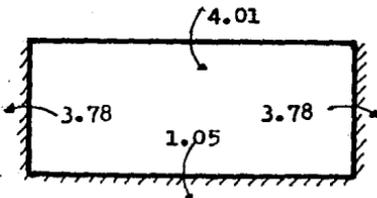
$$S: \quad \sigma = \frac{M}{S} = \frac{M}{bt^2/6}; \quad b = 1.0 \text{ m}$$

$$M = \frac{\sigma_b t^2}{6} = \frac{-B_1 q b^2}{6} t^2 = \frac{-B_1 q b t^2}{6} = -\frac{B_1 q b^2}{6}$$

$$M = -\frac{B_1 q b^2}{6}$$

$$M_b = -\frac{B_1 q b^2}{6} = -\frac{0.365(3.2)(4.4)^2}{6} = -3.78 \text{ ton-m}$$

$$M_a = -\frac{B_2 q b^2}{6} = -\frac{0.101(3.2)(4.4)^2}{6} = -1.05 \text{ ton-m}$$



Para la relación

$$a/b = 7.5/4.4 = 1.70 ; t = 30$$

Se tiene

$$a/b = 2.0$$

$$B_1 = 0.277$$

$$B_2 = 0.113$$

$$S_1 = 0.320$$

$$S_2 = 0.157$$

$$\sigma_b = \frac{B_1 q b^2}{t^2} = \frac{0.277(3.2)(4.4)^2}{(0.3)^2} = 190.67 \text{ ton/m}^2$$

$$R_b = (0.320)(3.20)(4.4) = 4.51 \text{ ton}$$

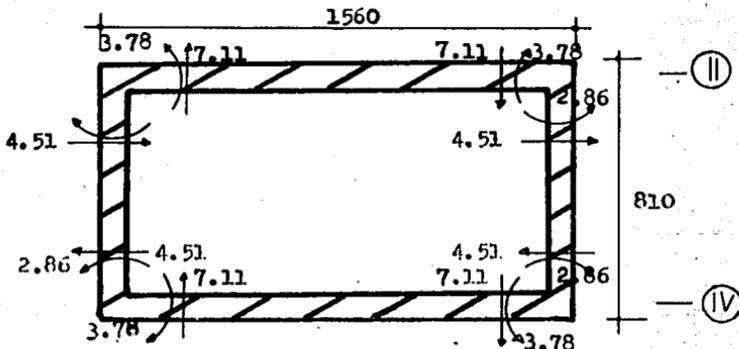
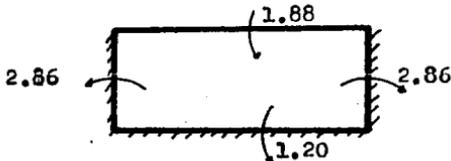
$$\sigma_a = \frac{B_2 q b^2}{t^2} = \frac{0.113(3.2)(4.4)^2}{(0.3)^2} = 78 \text{ ton/m}^2$$

$$-R_a = (0.157)(3.2)(4.4) = 2.21 \text{ ton}$$

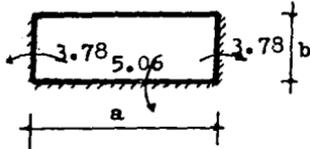
Momentos

$$M_b = -\frac{B_1 q b^2}{6} = -\frac{0.277(3.2)(4.4)^2}{6} = -2.86 \text{ ton-m}$$

$$M_a = -\frac{B_2 q b^2}{6} = -\frac{0.113(3.2)(4.4)^2}{6} = -1.20 \text{ ton-m}$$



## Diseño de muros II y IV



## Peralte

$$M_a = \sqrt{\frac{M}{Qb}} = \sqrt{\frac{506\,000}{20.80(100)}} = 16 \text{ cm}$$

$$M_b = \sqrt{\frac{378\,000}{20.80(100)}} = 14 \text{ cm}$$

$$\therefore d = 25 \text{ cm} \quad r = 5 \text{ cm} \quad h = 30 \text{ cm}$$

## Revisión por cortante

$$V = \frac{V}{bd} \ll V_c$$

$$V_c = 0.25 \sqrt{F'c} = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{7\,110}{25(100)} = 2.84 \text{ Kg/cm}^2 \quad V_c$$

## Acero de refuerzo claro largo

$$A_s = \frac{M}{F_s j d} = \frac{506\,000}{2080(0.86)(25)} = 11.76 \text{ cm}^2$$

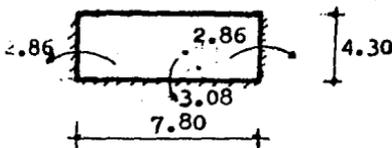
$$V_s \#6 = \frac{11.76}{2.85} = 5 \text{ VS} ; \text{ separación} = \frac{285}{11.76} = 20 \text{ cm}$$

## Acero de refuerzo claro corto

$$A_s = \frac{378\,000}{(2\,000 \times 0.86 \times 25)} = 8.79 \text{ cm}^2$$

$$V_s \#5 = \frac{8.79}{1.99} = 5 \text{ VS} \quad 20$$

## Diseño de muro B y G



$$\text{Peralte} \quad d_b = \sqrt{\frac{308\,000}{20.80(100)}} = 13 \text{ cm}$$

$$d_a = \sqrt{\frac{286\,000}{20.80(100)}} = 12 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm} ; r = 5 \text{ cm} \Rightarrow h = 30 \text{ cm}$$

Revisión por cortante

 $V_c =$  cortante crítico

$$V = \frac{v}{bd} \ll V_c$$

$$V_c = 3.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_c = \frac{4\,570}{(100)(25)} = 1.81 \text{ Kg/cm}^2 < V_c$$

Acero de refuerzo claro largo

$$A_s = \frac{308\,000}{2\,000 \times 0.86 \times 25} = 7.18 \text{ cm}^2$$

$$VS \#5 = \frac{7.18}{1.99} = 4 \text{ VS} \quad \text{separación} = \frac{1.99}{7.18} = 20 \text{ cm}$$

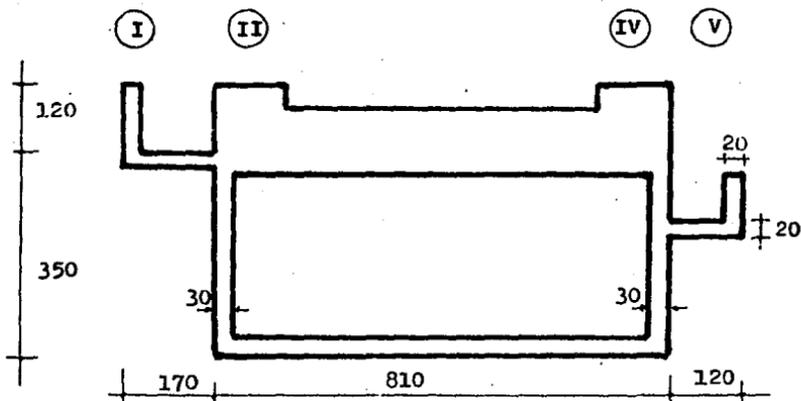
Acero de refuerzo claro corto

$$A_s = \frac{286\,000}{2\,000 \times 0.86 \times 25} = 6.66 \text{ cm}^2$$

$$VS \#5 = \frac{6.66}{1.99} = 4 \text{ VS} ; \text{ separación} = \frac{1.99}{6.66} = 20 \text{ cm}$$

DISEÑO DE LA LOSA DE FONDO.

- Peso de la estructura



## CARGAS.

## Canal I - II

$$W_a = 0.6 \times 1.5 \times 1 = 0.9 \text{ ton/m}$$

$$W_c = 0.2 \times 1.0 \times 2.4 = 0.48 \text{ ton/m}$$

$$0.2 \times 1.7 \times 2.4 = 0.82 \text{ ton/m}$$

$$0.05 \text{ "}$$

$$W_{cv} = \frac{0.10 \text{ "}}{Z = 2.35 \text{ ton/m}}$$

$$\text{Muro} = 0.3 \times 4.3 \times 2.4 = 3.096 \text{ ton/m}$$

## Canal II - IV

$$W_a = 0.7 \times 1.0 \times 1.0 = 0.7 \text{ ton/m}$$

$$W_c = 0.3 \times 1.4 \times 2.4 = 1.01 \text{ ton/m}$$

$$2(0.6 \times 0.2 \times 2.4) = \frac{0.48 \text{ "}}{2.19 \text{ ton/m}}$$

$$WT = 2.19 \times 7.81 = 17.10 \text{ ton/2} = 8.55 \text{ ton.}$$

## Canal IV - V

$$W_a = 0.6 \times 1.0 \times 1.0 = 0.6 \text{ ton/m}$$

$$W_c = 0.2 \times 1.0 \times 2.4 = 0.48 \text{ ton/m}$$

$$0.2 \times 1.2 \times 2.4 = 0.58 \text{ "}$$

$$W_{IRVING} = 0.05 \text{ "}$$

$$W_{c.v.} = \frac{0.10}{1.31 \text{ ton/m}}$$

## MURO IV

$$W_{cv} = 0.3 \times 3.3 \times 2.4 = 2.38 \text{ ton/m}$$

## Pesos totales

## MURO II

$$W = (2.35 + 3.10) = 5.45 \text{ ton/m}$$

$$WT = 5.45 \times 15.60 = 85.02 \text{ ton} + 8.55 = 93.57 \text{ ton}$$

Muro IV.

$$W = (1.81 + 2.38) = 4.19 \text{ ton/m}$$

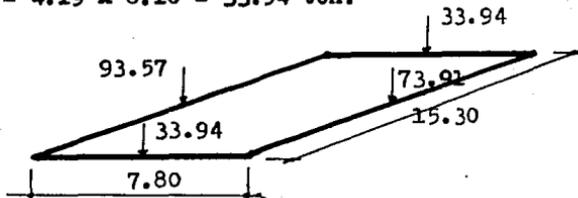
$$Wt = 4.19 \times 15.60 = 65.86 + 8.55 = 73.91 \text{ ton}$$

Muro B

$$W = 4.19 \times 8.10 = 33.94 \text{ ton.}$$

Muro G

$$W = 4.19 \times 8.10 = 33.94 \text{ ton.}$$



Carga axial.-  $(33.94 \times 2) + 73.91 + 93.57 = 235 \text{ ton.}$

Area disponible =  $7.80 \times 15.30 = 119.34 \text{ m}^2$

$$Wt = \frac{235}{119.34} = 1.96 \text{ ton/m}^2$$

Diseño

Por formulas de las 4 potencias

$$A/B = 7.8/15.30 = 0.51$$

$$A^4 = (7.8)^4 = 3702 \quad ; \quad \frac{A^4}{A^4+B^4} = \frac{3702}{58500} = 0.063$$

$$B^4 = (15.3)^4 = 54798 \quad \frac{B^4}{A^4+B^4} = \frac{54798}{58500} = \frac{0.937}{1.06}$$

Carga en el sentido corto

$$W_A = Wt \frac{B^4}{A^4+B^4} = 1900 \times 0.94 = 1786 \text{ Kg/m}^2$$

Carga en el sentido largo

$$W_B = Wt \frac{A^4}{A^4+B^4} = 1900 \times 0.063 = 120 \text{ Kg/m}^2$$

En una franja de 1.0 m de ancho

$$M \text{ máx (-) A} = \frac{WA A^2}{12} = 1786(7.8)^2 = 9\,055 \text{ Kg-m}$$

$$(+) \frac{WA A^2}{24} = \frac{1786(7.8)^2}{24} = 4\,528 \text{ Kg-m}$$

$$M \text{ máx (-) B} = \frac{WB B^2}{12} = \frac{120(15.3)^2}{12} = 2\,341 \text{ Kg-m}$$

$$(+) \frac{WB B^2}{24} = \frac{120(15.3)^2}{24} = 1\,170 \text{ Kg-m}$$

En la tabla 4.1 del reglamento de construcción del DDF (401) se encuentran los coeficientes de Momentos para tableros rectangulares.

Para una losa interior se tiene :

$$A/B = 0.5 \quad \text{CASO I}$$

Neg. bordes interiores	C Corto	553
	C Largo	409
Positivo	C Corto	312
	C Largo	139

Los momentos se calculan con la formula

$$M = 10^{-4} W_a B^2 c$$

$$M(-) \quad \begin{array}{ll} \text{C.C.} = 0.0001 \times 1900 \times (7.8)^2 & \times 5.53 = 6\,393 \text{ Kg-m} \\ \text{C.L.} = & \quad \quad \quad \quad \quad \times 4.09 = 4\,728 \quad \quad \quad \end{array}$$

$$M(+) \quad \begin{array}{ll} \text{C.C.} = 0.0001 \times 1900 \times (7.8)^2 & \times 3.12 = 3\,607 \quad \quad \quad \\ \text{C.L.} = & \quad \quad \quad \quad \quad \times 1.34 = 1\,607 \text{ Kg-m} \end{array}$$

Por ser más exactos los momentos obtenidos con los coeficientes del Reglamento, se diseñarán con estos valores.

Peralte

$$d = \sqrt{\frac{M}{Qb}} = \sqrt{\frac{639\,300}{20.80(100)}} = 19 \text{ cm}$$

$$d = 25 \text{ cm} ; \quad r = 5 \text{ cm} ; \quad h = 30 \text{ cm}$$



Revisión por cortante -

$$V = \frac{V}{bd} < V_c \quad V = \frac{W_c}{2}$$

$$V = \frac{1\,900(7.8)}{2} = 7\,410 \text{ Kg.}$$

$$V = \frac{7\,410}{(100)(25)} = 2.96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_c = 0.25 \sqrt{F'c} = 3.95 \text{ Kg/cm}^2 > V$$

Acero de refuerzo

Claro corto.

$$AS = \frac{M}{f_s j d} = \frac{639\,360}{2\,000(0.86)(25)} = 14.86 \text{ cm}^2$$

$$VS \#6 = \frac{14.86}{2.85} = 5 \text{ VS } @ 20 \text{ cm}$$

Claro largo

$$AS = \frac{472\,800}{2\,000(0.86)(25)} = 11 \text{ cm}^2$$

$$VS \#6 = \frac{11}{2.85} = 4 \text{ VS } @ 25 \text{ cm}$$

Esfuerzos en el terreno

Peso de la estructura

$$W_1 = 235 \text{ ton.}$$

Peso del material Filtrante (1m tirante)(Arena-gravilla-

Mosada)

$$W_2 = 1.0 \times 123.34 \times 2.0 = 246.48 \text{ ton.}$$

Peso del agua

$$W_3 = 2.5 \times 123.34 \times 1.0 = 308.10 \text{ ton.}$$

$$W_t = 235 + 246.48 + 308.10 = 789.58 \text{ ton.}$$

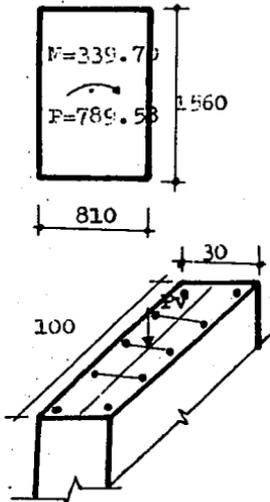
Carga accidental

(0.1) coeficiente sísmico

FH = Fza horizontal

$$FH = 789.58 (0.1) = 79 \text{ ton.}$$

$$M_s = 78 \times 4.3 = 335.4 \text{ ton-m}$$



$$F_t = \frac{P}{A} \pm \frac{6M}{bh^2}$$

$$F_t = \frac{789.58}{126.36} \pm \frac{6(339.70)}{8.10(15.3)^2}$$

$$F_t \text{ máx} = 6.24 + 1.09 = 7.33 \text{ ton/m}^2$$

$$F_t \text{ mín} = 6.24 - 1.09 = 5.15 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Si } F_t = 10 \text{ ton/m}^2 \quad F_t \text{ máx } \underline{0 \text{ K}}$$

Revisión de esfuerzos en el muro

La carga debida a los volados es:

$$P_v = 3.85 \text{ ton} + 8.54 \text{ ton} = 12.34 \text{ ton}$$

Se tiene una carga axial al centro de la estructura, pero se recomienda una excentricidad por lo menos de 0.10

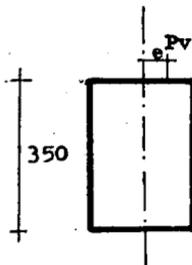
De acuerdo a lo anterior, los esfuerzos máximos y mínimos en el muro se determinarán de la siguiente manera:

$$F_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{cc}}{I}$$

Para este caso.

$$F_c = \frac{P_v}{A} \pm \frac{P_v e}{I}$$

$$\text{Si } e = 0.1 t = 0.1 (30) = 3 \text{ cm}$$



DATOS

$$F'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 112.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_m = 2000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = 20.80$$

$$A_{st} = 10 \text{ } \phi \text{ } 3/4''$$

Momento originado por la excentricidad



$M = Pve = 12\ 390 \times 3 = 37\ 170 \text{ Kg-cm}$   
**Transformación de la sección**  
 $At = 100 \times 30 = 3\ 000 \text{ cm}^2$  (Sección concreto)  
 $(n-1) = (20.80-1)10 \times 2.85 = 564 \text{ cm}^2$  (Sección acero)  
**Total = 3 564 cm<sup>2</sup>**

Distancia del centroide a la fibra más alejada

$$Gc = 30/2 = 15 \text{ cm}$$

Obtención del momento de inercia

$$Ic = \frac{100 (30)^3}{12} = 225\ 000 \text{ cm}^4$$

$$I \text{ Asj} = (n-1) Ast (10)^2 = 19.80 \times 10 \times 2.85 \times 100 = \frac{56\ 400 \text{ cm}^4}{\text{Total} = 281\ 400 \text{ cm}^4}$$

Aplicando  $Fc = \frac{PV}{A} \text{ I } \frac{MO.}{J}$

$$F \text{ perm} = 0.45 F'c = 112 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fc = \frac{12\ 390}{3\ 000} \text{ I } \frac{37\ 170(15)}{281\ 400}$$

Esfuerzo en el plano 1 - 1'

$$Fc = 4.13 + 1.99 = 6.12 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo en el plano 2 - 2'

$$Fc = 4.13 - 1.99 = 2.14 \text{ Kg/cm}^2$$

La relación de área de acero y concreto será:

$$P = 0.01$$

$$P = \frac{Ast}{At} = \frac{28.5}{3\ 000} = 0.0095 < 0.01$$

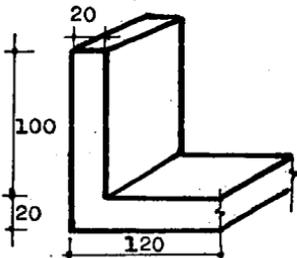
## CANTIDADES ESTIMADAS

- Concreto F'c = 100 Kg/cm<sup>2</sup>

$$V = 0.05 \times 15.60 \times 8.1 = 6.40 \text{ m}^3$$

- Concreto F'c = 250 Kg/cm<sup>2</sup>

## a) Canal mayor.



$$V_{01} = 2.2 \times 0.2 \times 1.0 = 0.44 \text{ m}^3/\text{ml}$$

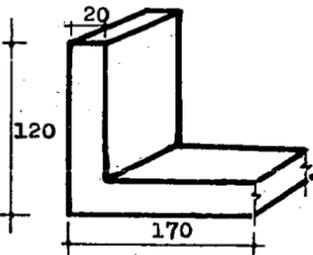
$$V_1 = (7.4 \times 0.44) \times 2 = 6.50 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (15.6 \times 0.44) = 6.90 \text{ m}^3$$

$$V_3 = (1.0 \times 1.0 \times 0.2) \times 4 = 0.80 \text{ m}^3$$

$$V_{T1} = 14.20 \text{ m}^3$$

## b) Canal posterior



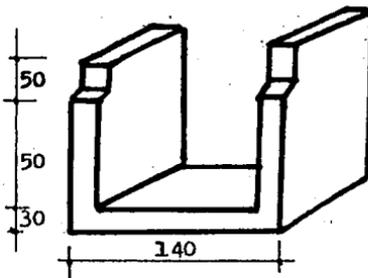
$$V_{01} = 2.7 \times 0.2 \times 1.0 = 0.54 \text{ m}^3/\text{ml}$$

$$V_1 = 12.20 \times 0.54 = 6.60 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (1.7 \times 0.2 \times 1.0) \times 2 = 0.70 \text{ m}^3$$

$$V_{T2} = 7.30 \text{ m}^3$$

## c) Canal central



$$V_{01} = 1.4 \times 0.3 \times 1.0 = 0.42$$

$$0.5 \times 0.2 \times 1.0 = 0.10$$

$$0.52 \text{ m}^3/\text{ml}$$

$$V_1 = 7.50 \times 0.52 = 3.90 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (0.9 \times 0.5 \times 0.2) \times 2 = 0.20 \text{ m}^3$$

$$V_{T3} = 4.10 \text{ m}^3$$

d) Losa

$$V_1 = 1.7 \times 0.2 \times 2.0 = 0.70 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1.7 \times 1.2 \times 0.2 = 0.40 \text{ m}^3$$

$$VT_4 = 1.10 \text{ m}^3$$

f) Muro frontal

$$V_1 = 3.8 \times 0.3 \times 15.6 = 17.80 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (2.2 \times 0.3 \times 1.5)^2 = 2.00 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 1.4 \times 0.3 \times 1.5 = 0.65 \text{ m}^3$$

$$VT_6 = 20.45 \text{ m}^3$$

e) Muro posterior

$$V_1 = 0.3 \times 4.3 \times 15.6 = 20.15 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.5 \times 0.2 \times 4.2 = 0.45 \text{ m}^3$$

$$VT_5 = 20.60 \text{ m}^3$$

g) Muros laterales

$$V_1 = 3.8 \times 0.3 \times 7.5 = 8.55 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (1.9 \times 0.3 \times 1.5)^2 = 1.70 \text{ m}^3$$

$$10.25 \text{ c/muro}$$

$$VT_7 = 10.25 \times 2 = 20.50 \text{ m}^3$$

h) Losa de fondo

$$V_1 = 0.3 \times 7.5 \times 15 = 33.75 \text{ m}^3$$

$$VT = 14 + 7.3 + 4.1 + 1.1 + 20.60 + 20.45 + 20.50 + 33.75 = 122 \text{ m}^3$$

- Cimbra de madera (Sup. de contacto)

a) Canal de mayor longitud

$$\text{A Lado ext.} = 1.2 \times 7.5 \times 2 = 18 \text{ m}^2$$

$$1.2 \times 1.2 \times 2 = 2.90 \text{ m}^2$$

$$1.2 \times 1.8 = 21.60 \text{ m}^2$$

$$\text{A Lado int.} = 1.0 \times 7.10 \times 2 = 14.20 \text{ m}^2$$

$$1.0 \times 1.7.60 \times 2 = 35.20 \text{ m}^2$$

$$1.0 \times 1.0 \times 2 = 9.0 \text{ m}^2$$

$$\text{A cara inf.} = 1.2 \times 7.5 \times 2 = 18.0 \text{ m}^2$$

$$1.2 \times 1.5.6 = 18.70 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup. total} = 130.60 \text{ m}^2$$

## b) Canal Central

$$\begin{aligned} \text{A Lado ext. } & 0.8 \times 7.8 \times 2 = 12.50 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 1.2 \times 4 = 2.40 \\ & 0.2 \times 0.5 \times 4 = 0.40 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A Lado int. } & 0.5 \times 7.8 \times 2 = 7.8 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 1.0 = 0.5 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 0.9 \times 4 = 1.8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A cara inf} & = 7.5 \times 1.4 = 10.5 \text{ m}^2 \\ \text{Sup. total} & = 35.90 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## d) Muro Posterior

$$\begin{aligned} \text{A Lado ext} & = 3.6 \times 15.6 = 56.20 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 15.20 = 7.60 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 1.0 \times 2 = 1.0 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A Lado int} & = 3.3 \times 15.0 = 4.95 \text{ m}^2 \\ & 1.5 \times 2.2 \times 2 = 6.60 \text{ " } \\ & 1.5 \times 0.9 \times 2 = 2.70 \text{ " } \\ & 0.5 \times 15 = 7.5 \text{ " } \\ \text{Sup. total} & = 86.55 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## f) Muros laterales

$$\begin{aligned} \text{A Lado ext} & = 2.6 \times 8.1 = 21.10 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 8.1 = 4.10 \\ & 2.2 \times 1.5 \times 2 = 6.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A Lado int} & = 2.8 \times 7.5 = 21.0 \\ & 1.9 \times 1.5 \times 2 = 6.60 \\ \text{Sup. total} & = 58.50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## c) Canal Posterior

$$\begin{aligned} \text{A Lado ext} & = 1.2 \times 16.0 = 19.20 \text{ m}^2 \\ \text{A Lado int} & = 1.0 \times 12.20 = 12.20 \text{ m}^2 \\ & 1.0 \times 1.5 = 1.50 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{A cara inf} = 1.7 \times 12.60 = 21.45$$

$$\text{Sup. total} = 54.35 \text{ m}^2$$

## e) Muro Frontal

$$\begin{aligned} \text{A Lado ext} & = 2.6 \times 15.6 = 40.56 \text{ m}^2 \\ & 0.5 \times 15.0 = 7.80 \text{ " } \\ & 2.2 \times 1.5 \times 2 = 6.6 \text{ " } \\ & 1.4 \times 1.5 = 2.10 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A Lado int} & = 2.80 \times 15.0 = 42.0 \text{ m}^2 \\ & 0.2 \times 1.4 = 0.28 \text{ m}^2 \\ & 1.9 \times 1.5 \times 2 = 6.0 \text{ m}^2 \\ \text{Sup. total} & = 105.40 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## g) Losa

$$\begin{aligned} \text{A cara inf} & = 1.7 \times 2.2 = 3.75 \text{ m}^2 \\ & 1.2 \times 1.8 = 2.20 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A cachete} & = 3.5 \times 0.2 = 0.70 \text{ m}^2 \\ \text{Sup. total} & = 6.65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Area total} = 478 \text{ m}^2$$

- Cantidades de material en barandal.

a) tubo de  $2 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{2} \times 5/16$

$$39 \text{ pzas.} \times 1.5 = 58.5 \text{ mts.}$$

b) tubo de  $1 \frac{1}{2} \phi$

$$20 \text{ pzas. vert} \times 1.0 = 20 \text{ mts.}$$

$$3 \text{ pzas. torz} \times 59.9 = 179.70 \text{ mts.}$$

c) placas  $1" \times 4" \times 4"$

$$31 \text{ pzas. (Empotradas en muros)}$$

d) Varilla #3 de 20 cm de long.

$$31 \times 4 = 124 \text{ pzas.}$$

e) Rejilla B-34-38.3

$$A_1 = 7.25 \times 2 = 14.50 \text{ m}^2$$

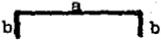
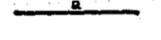
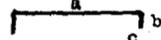
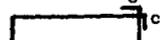
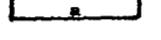
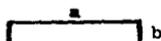
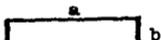
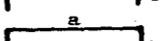
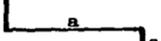
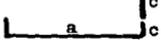
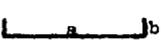
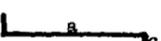
$$A_2 = 15.6 \times 1.0 = 15.6 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 7.8 \times 1.0 = 7.8 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 12.2 \times 1.5 = 18.3 \text{ m}^2$$

$$\text{total} = 56.20 \text{ m}^2$$

## LISTA DE VARILLAS

TIPO	DIAMETROS	CANTIDAD	a(CM)	b(CM)	c(CM)	LONGITUD TOTAL	CROQUIS	PESO TOTAL (Kg)
A	6	9	800	125	-	9 450		213
B	4	9	800	20	-	7 560		75
C	3	4	800	-	-	3 200		18
C'	3	4	110	-	-	440		3
CH	4	43	130	15	15	6 880		69
D	3	29	70	10	10	5 220		29
D'	3	14	120	10	10	3 920		22
E	4	28	150	10	-	21 560		215
F	4	78	140	10	-	12 480		124
G	4	78	140	110	10	20 280		202
H	3	24	750	15	-	18 720		104
H'	3	12	1 250	15	-	15 360		86
H''	3	12	1 790	15	-	21 840		122
I	4	233	110	15	10	31 455		313
J	4	233	110	25	10	33 785		337
K	5	68	800	25	-	57 800		902
K'	5	128	210	25	20	32 640		509
K''	5	48	470	30	20	24 960		389

K**	5	48	470	20	-	24 480	b   a   b	382
L	5	38	320	30	20	14 060	b   a   c	219
LL	5	38	320	20	-	13 680	b   a   b	213
M	3	43	55	10	-	3 225	45° b   a   b	18
N	6	18	180	-	-	3 240	a	73
O	4	9	450	-	-	4 050		40
P	5	158	800	20	-	132 720	b   a   b	2 070
Q	5	82	1 550	20	-	66 780		1 042
R	4	64	190	10	10	13 440		134
S	6	64	190	125	10	20 800	b   a   c	468
T	4	18	1 250	10	10	22 860		228
T'	4	12	1 790	10	10	21 720	b   a   b	216
U	5	72	1 550	20	20	114 480		1 786
U'	5	48	120	-	-	5 760	a	90
V	6	44	340	30	20	17 160		386
W	6	44	340	20	20	16 720	b   a   c	376
X	6	48	470	30	20	24 960		562
Y	6	48	470	20	20	24 480		551
Z	4	112	80	-	-	8 960	a	89
<b>TOTAL</b>								<b>12 675</b>

## LISTA DE PIEZAS ESPECIALES

NUMERO	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
1	Codo de 90° de acero 457 mm. (18") $\phi$ , 6.35mm (1/4") de espesor formado por 5 gajos.	1	Pza.
2	Carrete de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6.35mm (1/4") de espesor y una longitud de 3 900 mm	1	Pza.
3,56	Codo de 60° de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6,35mm. (1/4") de espesor formado por cuatro gajos.	2	Pza.
4	Carrete de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6.35mm. (1/4") de espesor y una longitud de 2 200 mm.	1	Pza.
5-7-11 13-15	Brida de acero 457mm (18") $\phi$ 39.7 mm. (1.9/16") de espesor	5	Pza.
6-14	Válvula de seccionamiento tipo compuerta de vástago fijo de 457 mm. (18") $\phi$	2	Pza.
8-16	Carrete de acero 457mm (18") $\phi$ , 6.35mm (1/4") de espesor y una longitud de 500 mm.	2	Pza.
9-1758	Junta Gibault de 457 mm. (18") $\phi$	3	Pza.
10	Carrete de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6.35mm. (1/4") de espesor y una longitud de 600 mm.	1	Pza.
12	Carrete de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6.35mm. (1/4") de espesor y una longitud de 1 150 mm.	1	Pza.
18	Carrete de acero 457mm. (18") $\phi$ , 6.35 mm. (1/4") de espesor y una longitud de 5 050 mm.	1	Pza.

## LISTA DE PIEZAS ESPECIALES

NUMERO	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
19	Tee de acero 457 x 203mm.(18"x8") $\phi$ , y 6.35mm. (1/4") de espesor.	1	Pza.
20	Reducción de acero 457 a 356mm.(18" a 14") $\phi$ y 6.35mm. de espesor (1/4")	1	Pza.
21	Carrete de acero 356mm.(14") $\phi$ ,6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 6 200 mm.	1	Pza.
22-32	Codo de 90° de acero 356mm.(14") $\phi$ ,6.35mm.	4	Pza.
33-54	(1/4") de espesor formado por 5 gajos.		
23-28	Reducción de acero 356 a 203mm.(14" a 8") $\phi$ y 6.35 mm. (1/4") de espesor.	3	Pza.
29			
24-25	Carrete largo de 203 mm. (8") $\phi$	2	Pza.
26-27	Brida de acero de 203mm. (8") $\phi$ , 28.6 mm. (1 1/8") de espesor.	2	Pza.
30-31	Carrete de acero 356mm.(14") $\phi$ , 635mm.(1/4") de espesor y una longitud de 2 000 mm	2	Pza.
34-35-39	Carrete de acero 356mm.(14") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 1 000 mm.	5	Pza.
40-32			
36-37	Tee de acero 356 x 356mm.(14"x14") $\phi$ ,6.35mm. (1/4") de espesor.	3	Pza.
70			
38	Carrete de acero 356mm.(14") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 3 400 mm.	1	Pza.
62	Reducción de acero 60.9 a 431.8mm.(24" a 17") $\phi$ , y 6.35mm.(1/4") de espesor.	1	Pza.

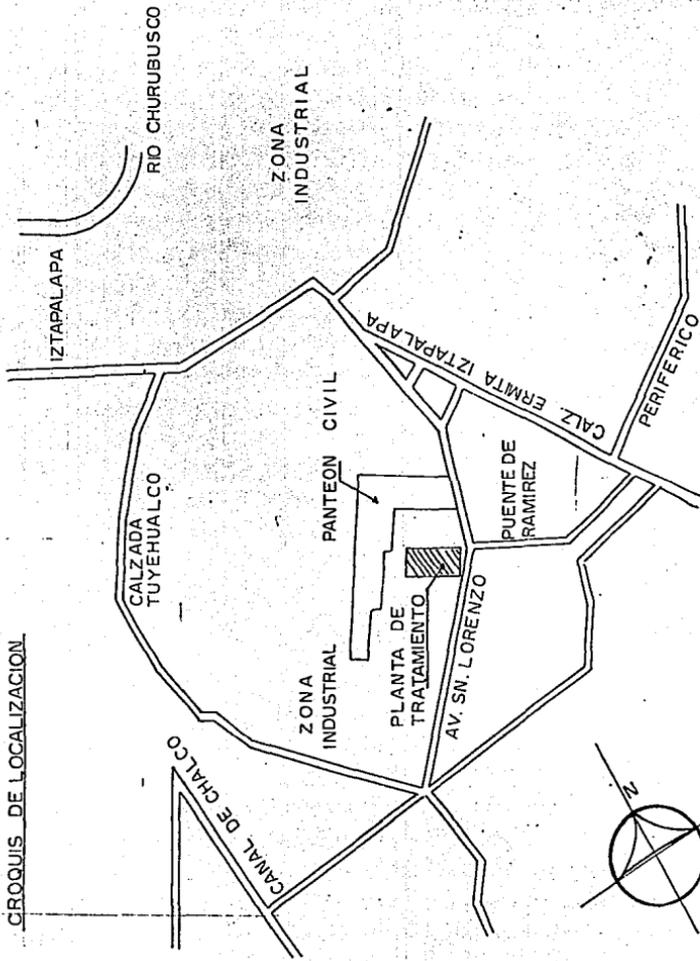
## LISTA DE PIEZAS ESPECIALES

NUMERO	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
45	Tapa ciega 356 mm. (14") $\phi$	1	Pza.
43-44 68	Válvula de seccionamiento tipo compuerta de vástago fijo de 356 mm. (14") $\phi$ .	3	Pza.
47-49	Carrete de acero 356mm.(14") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 500 mm.	2	Pza.
48	Junta Gibault de 356 mm. (14") $\phi$ .	1	Pza.
50	Codo de 6° de acero 356mm.(14") $\phi$ , 6.35mm. (1/4") de espesor formado por 2 gajos,	1	Pza.
51-59	Rejilla de acero formada con varilla de 12.7mm. (1/2") $\phi$ lisa, a cada 50.8mm.(2") de separación.	2	Pza.
41-42-46 52-60-66 67	Brida de acero 356mm.(14") $\phi$ , 34.9 mm.(1 3/8") de espesor.	7	Pza.
53	Carrete de acero (431.8mm(17") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 1 200 mm.	1	Pza.
55	Carrete de acero 431.8mm (17") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 15 750 mm.	1	Pza.
61	Carrete de acero 431.8mm.(17") $\phi$ , 6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 700 mm.	1	Pza.
63	Tee de acero 609.6 x 431.8mm.(24"x17") $\phi$ , 6.35mm (1/4") de espesor	1	Pza.

## LISTA DE PIEZAS ESPECIALES

NUMERO	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD
64	Codo de 90° de acero 609.6mm.(24") $\phi$ , 6.35mm. (1/4") de espesor formado por 5 gajos.	1	Pza.
65	Carrete de acero 609.6mm(24") $\phi$ ,6.35mm.(1/4") de espesor y una longitud de 9 000 mm.	1	Pza.
57	Extremidad 457 mm. (18") $\phi$	1	Pza.
69	Carrete de acero 457mm.(18") $\phi$ ,6.35mm(1/4") de espesor y una longitud de 149 380 mm.	1	Pza.
<b>TUBERIA PRIMARIA Y SECUNDARIA.</b>			
	Carrete de acero 203 mm.(8") $\phi$ ,6.35mm (1/4") de espesor y una longitud de 600 mm.	14	Pza.
	Carrete 102mm. (4") $\phi$ (perforado) con una longitud de 3 400 mm.	32	Pza.
	Brida de acero 203mm.(8") $\phi$ , 28.6mm. (1 1/8") de espesor.	30	Pza.
	Brida con rosca 102 mm. (4") $\phi$	32	Pza.
	Crus 203 x 102 mm. (8" x 8") $\phi$	16	Pza.
	Tapón roscado 102 mm. (4") $\phi$	32	Pza.
<b>TOORNILLOS CON CABESA Y TUERCA HEXAGONAL,</b>			
<b>DE:</b>			
	15.9mm. $\phi$ x 76.2mm. (5/8" x 3")	256	Pza.
	19.1mm. $\phi$ x 88.9mm. (3/4" x 3 1/2")	272	Pza.
	25.4mm. $\phi$ x 114.3mm. (1" x 4 1/2")	48	Pza.
	28.6mm. $\phi$ x 114.3mm. (1 1/8" x 4 1/2")	80	Pza.
<b>EMPAQUE DE PLOMO DE:</b>			
	102 mm. (4") $\phi$	32	Pza.
	203 mm. (8") $\phi$	34	Pza.
	356 mm. (14") $\phi$	4	Pza.
	457 mm. (18") $\phi$	5	Pza.

CROQUIS DE LOCALIZACION



## C O N C L U S I O N E S

Los procedimientos descritos en el presente trabajo, son particulares, ya que cada planta ubicada en el Distrito Federal con los 2 tratamientos (primario y secundario) tiene características diferentes que definen su funcionamiento y construcción.

El sistema de filtración propuesto para el agua residual, para procesos de tratamiento posteriores o, como es el caso para su utilización directa como agua con un grado de clarificación elevado.

La industria es, casi con seguridad, quien consume más agua en el mundo, y la mayor demanda de agua industrial es para procesos de agua de refrigeración.

En algunos casos, la industria ha empleado también aguas con un elevado contenido mineral, así como otras que no reúnen los requisitos estipulados en las normas de agua potable en lo referente a contenido de bacterias; debido a que los procesos se utilizan en circuitos cerrados.

En la actualidad, este tipo de industrias consume agua de calidad potable en procesos que no necesariamente se requiere de esta calidad, con lo que disminuye la cantidad de agua para consumo humano.

Con la construcción de la Ampliación de la Planta de

Tratamiento Cerro de la Estrella, el caudal que actualmente consumen estas industrias hubicadas en las inmediaciones de la Delegación Iztapalapa, se verá sustituido por el de agua tratada, con lo que redundará en beneficios para esta comunidad que verá aumentado su potencial de agua potable.

## B I B L I O G R A F I A

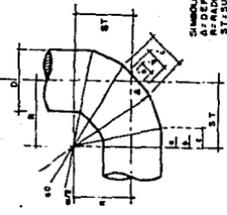
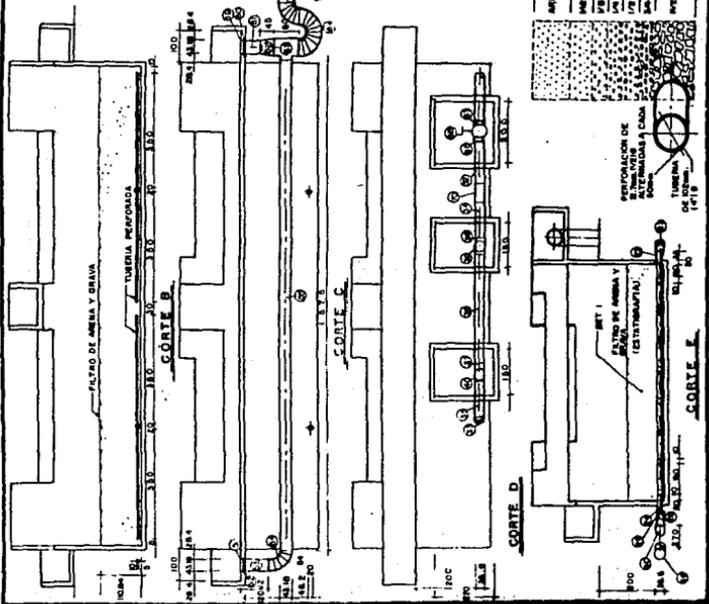
- 1.- INGENIERIA SANITARIA Y AGUAS RESIDUALES  
DE FAIR-GEYER Y OKUN TOMOS I Y II ED. WMUSA
- 2.- ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO  
ERNEST W. STEEL ED. G-G
- 3.- AYUDAS DE DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO  
UNAM. 400 , 401
- 4.- CARTILLA DE SANEAMIENTO Y DESECHOS SOLIDOS  
SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA
- 5.- USO DE MEDIOS FILTRANTES EN ING. SANITARIA Y MECANICA  
DE SUELOS  
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS MEX. D.P. 1982
- 6.- CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO  
CENTRO DE EDUC. CONTINUA DE LA FAC. DE ING. DE LA UNAM.  
TOMO I Y II
- 7.- PLAN MAESTRO DE TRATAMIENTO Y REUSO  
DDPÍDGGCH  
ELABORADO POR ICA INDUSTRIAL DIC. - 79
- 8.- NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE ALCANTARILLADO  
SANITARIO EN LOCALIDADES URBANAS DE LA REP. MEXICANA  
S A H O P.

- 9.- **MANUAL DE NORMAS DE PROYECTO PARA OBRAS DE APROVISI-  
MIENTO DE AGUA POTABLE EN LOCALIDADES URBANAS DE LA  
REPUBLICA MEXICANA.**  
S A H O P., MEXICO,DF., OCTUBRE 1979.
- 10.-**FORMULAS FOR STRESS AND STRAIN**  
ROARK, RAYMOND JEFFERSON, ED. MC GRAW HILL, 1890 .
- 11.-**INGENIERIA CIVIL**  
ORGANO OFICIAL DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE  
MEXICO, A.C., NUMEROS 216 Y 224 , 1980.
- 12.-**TRATAMIENTO Y DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES**  
METCALF-EDDY, ED. LABOR S.A., PRIMERA EDICION MAYO 1977
- 13.-**HIDRAULICA GENERAL**  
SOTELO AVILA, GILBERTO, EDIT. LIMUSA, PRIMERA ED. 1974
- 14.-**MANUAL DE HIDRAULICA**  
ACEVEDO NETTO J.M. DE, EDIT. HARLA.
- 15.-**COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO SEGUNDA PARTE**  
(S A R H) **REUSO DE AGUAS RESIDUALES, 1975 .**
- 16.-**(S A R H) DOCUMENTACION DE LA COMISION DEL PLAN NACIONAL  
HIDRAULICO.**  
21 **PERFIL DEL USO DEL AGUA EN LAS PLANTAS DE NUEVE IND.**
- 17.-**MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS**  
DEPARTAMENTO LE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA-YORK,  
EDIT. LIMUSA .
- 18.-**APUNTES DE CONTAMINACION DE AGUAS(FAC. DE ING.)**  
ING. E. MURGUIA VACA, MAYO 1976.

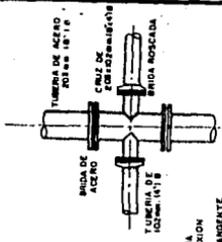
- 19.- CONTROL DE CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA  
AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.
- 20.- ESTUDIO DE DEMANDAS DE CONSUMO DE AGUA POTABLE EN  
INDUSTRIAS DE LA ZONA IZTAPALAPA D.F.  
DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION  
HIDRAULICA(DGCOH)DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- 21.- MANUAL DE FORMULAS TECNICAS  
KURT GIECK, EDITORIAL REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE  
INGENIERIA, S.A. MEXICO, 18 ED.







DETALLE  
CODO DE ACERO



DETALLE 2

DIMENSIONAMIENTO DE CODOS DE ACERO

NO. DEL CODO	DI. EXTERNO	DI. INTERNO	DI. DE LA BOLA	DI. DE LA BRIDA	DI. DE LA TUBERIA	DI. DE LA BOLA	DI. DE LA BRIDA	DI. DE LA TUBERIA
1	100	80	100	100	100	100	100	100
2	120	100	120	120	120	120	120	120
3	140	120	140	140	140	140	140	140
4	160	140	160	160	160	160	160	160
5	180	160	180	180	180	180	180	180
6	200	180	200	200	200	200	200	200
7	220	200	220	220	220	220	220	220
8	240	220	240	240	240	240	240	240
9	260	240	260	260	260	260	260	260
10	280	260	280	280	280	280	280	280
11	300	280	300	300	300	300	300	300
12	320	300	320	320	320	320	320	320
13	340	320	340	340	340	340	340	340
14	360	340	360	360	360	360	360	360
15	380	360	380	380	380	380	380	380
16	400	380	400	400	400	400	400	400
17	420	400	420	420	420	420	420	420
18	440	420	440	440	440	440	440	440
19	460	440	460	460	460	460	460	460
20	480	460	480	480	480	480	480	480
21	500	480	500	500	500	500	500	500
22	520	500	520	520	520	520	520	520
23	540	520	540	540	540	540	540	540
24	560	540	560	560	560	560	560	560
25	580	560	580	580	580	580	580	580
26	600	580	600	600	600	600	600	600
27	620	600	620	620	620	620	620	620
28	640	620	640	640	640	640	640	640
29	660	640	660	660	660	660	660	660
30	680	660	680	680	680	680	680	680
31	700	680	700	700	700	700	700	700
32	720	700	720	720	720	720	720	720
33	740	720	740	740	740	740	740	740
34	760	740	760	760	760	760	760	760
35	780	760	780	780	780	780	780	780
36	800	780	800	800	800	800	800	800
37	820	800	820	820	820	820	820	820
38	840	820	840	840	840	840	840	840
39	860	840	860	860	860	860	860	860
40	880	860	880	880	880	880	880	880
41	900	880	900	900	900	900	900	900
42	920	900	920	920	920	920	920	920
43	940	920	940	940	940	940	940	940
44	960	940	960	960	960	960	960	960
45	980	960	980	980	980	980	980	980
46	1000	980	1000	1000	1000	1000	1000	1000

UNAM

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN" INGENIERIA CIVIL

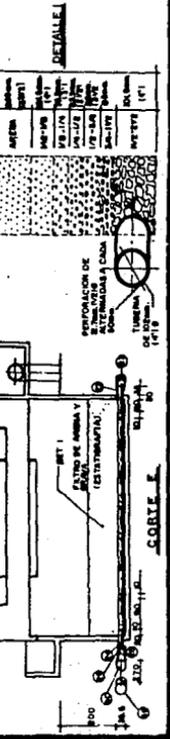
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA CIVIL

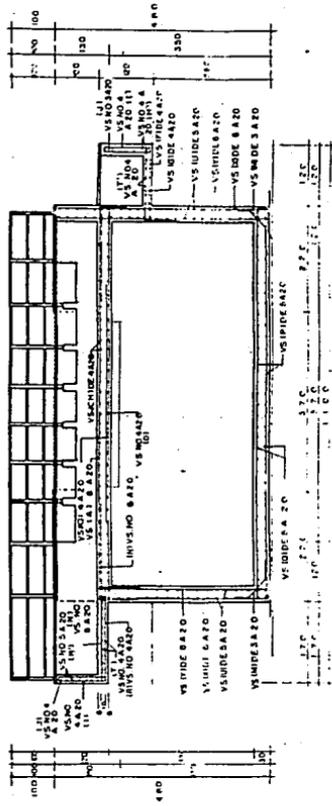
PROFESOR ENCARGADO: F. GONZALEZ

ALUMNO: GERMANO GONZALEZ PEREZ

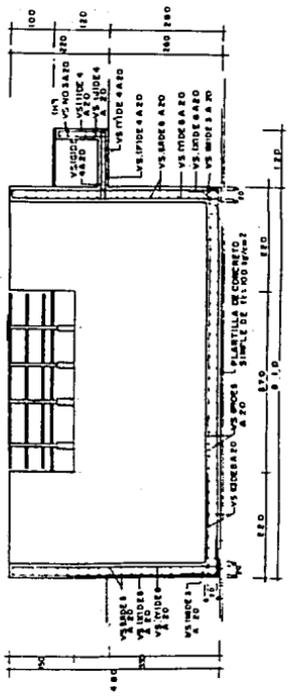
NO. DE CTA. 7897416-9







CORTE BB



CORTE CC

	<b>ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"</b> INGENIERIA CIVIL	
	<b>U TESIS</b> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO	DISTRIBUCION DE A.S. A "A.C.A.T.L.A.N." CENTRO DE LA ESTRELLA 100-20-000
<b>N A</b> ESCALA MODICA	<b>PROFESIONAL</b> FILTRO RAPIDO DE MATEP. A.	
<b>A A</b> PLANO NO. 8	<b>GRADUADO E STRUCT. 2.-</b> ALUMNO: GEBERTRO MONTALEZ PEREZ NO. DE CUENTA: 76 07 11-8	

